

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**ANÁLISIS TERMoeCONÓMICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE  
HIELO DE LA FÁBRICA SEFRIN S.A.C PARA LA MEJORA DE LA  
PRODUCTIVIDAD**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**AUTOR**

**JOSÉ BENNY AMAYA CISNEROS**

**ASESOR**

**Ing. HUGO WALTER MUNDACA GUERRA**

**Chiclayo, 2017**

## **DEDICATORIA**

Esta investigación va dedicada a mis padres por su esfuerzo y confianza hacia mi persona y su incondicional apoyo que me brindaron en cada etapa del desarrollo de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer en primer lugar a Dios, por permitirme este don hermoso como es la vida, a mis padres por brindarme su confianza y apoyo incondicional.

## **Resumen**

Los sistemas térmicos se caracterizan por sufrir importantes interacciones de trabajo y/o calor con el entorno y, además, pueden intercambiar con él masa en forma de corrientes calientes o frías, incluyendo mezclas químicamente reactivas. Los sistemas térmicos aparecen en casi todas las industrias y pueden encontrarse numerosos ejemplos de ellos en nuestra vida cotidiana. Su diseño supone la aplicación de principios correspondientes a la Termodinámica, la Mecánica de fluidos y la Transferencia de calor, al igual que en campos tales como materiales, fabricación y diseño mecánico. El diseño de los sistemas térmicos también requiere la consideración explícita de la ingeniería económica, puesto que los costes son siempre un aspecto a tener en cuenta. El término termoeconomía puede usarse para esta área general de aplicación, aunque a menudo se aplica de manera más restringida a metodologías que combinan exergía y economía para optimizar el diseño y la operación de los sistemas térmicos.

En la empresa SEFRIN S.A.C, es una fábrica de producción de hielo en bloques (barras) y que su principal mercado de consumo es el sector pesquero, y que usan los bloques de hielo triturados en las cámaras de refrigeración, va ser un modelo para el estudio termoeconómico el cual permitirá optimizar el diseño y la operación del sistema de congelamiento de agua para producir el hielo.

**Palabras claves:** Termoeconomía, exergía, economía, termodinámica, sistema térmico.

## **Abstract**

Thermal systems are characterized by having important working and / or heat interactions with the environment and, in addition, they can exchange with it mass in the form of hot or cold currents, including chemically reactive mixtures. Thermal systems appear in almost every industry and can be found numerous examples of them in our daily lives. Its design involves the application of principles corresponding to thermodynamics, fluid mechanics and heat transfer, as well as in fields such as materials, manufacturing and mechanical design. The design of thermal systems also requires the explicit consideration of economic engineering, since costs are always an aspect to be taken into account. The term thereconomy can be used for this general area of application, although it is often applied more narrowly to methodologies that combine exergy and economy to optimize the design and operation of thermal systems.

In the company SEFRIN SAC, it is a factory of ice production in blocks (bars) and that its main market of consumption is the fishing sector, and that they use crushed ice blocks in the refrigeration chambers, will be a model for the A thermo-economical study that will optimize the design and operation of the water freezing system to produce ice.

**Keywords:** Thermoeconomics, exergy, economics, thermodynamics, thermal system.

# ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
ÍNDICE .....	6
Índice de figuras.....	7
Índice de fotografías .....	8
Índice de tablas.....	9
Introducción .....	10
OBJETIVOS.....	12
Objetivo General .....	12
Objetivos Específicos .....	12
PROBLEMA .....	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
MARCO TEÓRICO .....	15
1. Balance termodinámico .....	15
2. Análisis exergético.....	16
3. Termoeconomía.....	17
4. Análisis exergoeconómicos. ....	20
5. Hielo. ....	20
6. Sistemas de refrigeración. ....	22
7. Funcionamiento de una fábrica de hielo.....	23
7.1. Refrigerante .....	25
7.2. Amoniaco.....	31
7.3. Salmuera.....	32
8. Productividad. ....	34
MATERIALES Y MÉTODOS .....	35
3.5.1 Análisis termodinámico:.....	60
CONCLUSIONES .....	67
RECOMENDACIONES .....	68
BIBLIOGRAFÍA .....	69
ANEXOS.....	70

## Índice de figuras

<b>Figura 1. Evolución de la termoeconomía .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 2. Principales elementos de un sistema de refrigeración de vapor .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 3. Formulas estructurales de refrigerante.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 4. Ubicación de la empresa SEFRIN S.A.C.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 5. Ubicación de la empresa SEFRIN S.A.C.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 6. Componentes de un sistema de refrigeración .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 7. Diagrama T-s del ciclo real de compresión de vapor .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 8. Fuente: Mycom-M-Recip.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 9. Fuente: Mecalux logismarket.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 10. Fuente <a href="http://www.mindindustrial.es">www.mindindustrial.es</a>.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 11. Fuente: Termodinámica Técnica. Moran Shapiro.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 12. Control Automático para sistemas de refrigeración industriales .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 13.- Diagrama t-s .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 14. Calculo de elemento .....</b>	<b>66</b>

## Índice de fotografías

<b>Foto 1. Zona de fabricación del hielo en bloques. ....</b>	<b>39</b>
<b>Foto 2. Área de elaboración de los bloques de hielo. ....</b>	<b>71</b>
<b>Foto 3. Agitadores de la salmuera .....</b>	<b>71</b>
<b>Foto 4. Compresor y válvula de escape.....</b>	<b>72</b>
<b>Foto 5 Bloques de hielo.....</b>	<b>73</b>



## Índice de tablas

<b>Tabla 1. Propiedades del hielo .....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 2. Estructura del hielo .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 3 Tipos de refrigerantes .....</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 4. Agua .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 5. Resumen de elementos .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 6: OSINERMIN.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 7. Fuente OSINERMING .....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 8. Resumen.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 9. Elementos del sistema .....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 10. Precios .....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 11. VAN/TIR.....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 12: OSINERMIN.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 13: Fuente SEFRIN S.A.C.....</b>	<b>74</b>

## **Introducción**

La termoeconomía relaciona conceptos de la termodinámica y de la economía, proporciona fundamentos teóricos y procedimientos prácticos para el análisis, auditoría, diseño y optimización de los sistemas energéticos.

En las empresas de hielo tienen un gran consumo energético, ya que para su posterior uso debe estar en forma de potencia frigorífica para poder primero producir hielo. Para la fabricación de hielo súper enfriado (hielo por debajo de  $0^{\circ}\text{C}$ ) debe emplear proporcionalmente demasiada energía puesto que el hielo en sí tiene un efecto aislante que debe vencerse para su súper enfriamiento.

Hay dos aspectos que han de tenerse muy en cuenta. La energía consumida en la fabricación de una tonelada de hielo es importante, ya que influye en los costos de fabricación del hielo mismo. Por otra parte, la energía instalada también reviste interés, ya que determinará el equipo de suministro de energía que necesitará la fábrica.

La energía necesaria para producir una tonelada de hielo no es una constante: varía según el tipo de maquinaria y el régimen de funcionamiento.

Las instalaciones que operan con bajas temperaturas en la máquina de hacer hielo, como las de hielo en escamas, tienen un mayor consumo de energía, al igual que las que operan con altas temperaturas de enfriamiento del condensador y con agua de relleno caliente. Por consiguiente, el funcionamiento de una fábrica será más caro en las zonas tropicales que en los climas templados.

El siguiente trabajo propone realizar un análisis termoeconómico en la fábrica SEFRIN S.A.C, para así determinar su uso energético y si está haciendo un uso eficiente para la producción de hielo y la producción de este está generando ganancias, pérdidas o es igual la producción y el consumo.

En la fábrica SEFRIN S.A.C se empleará un balance exergético ya que debe estar basado en esta realidad para determinar cuanta energía ha sido necesaria para producir

la cantidad de producto interno de la planta. La tasa de coste de exergía (TCE<sup>1</sup>) nos proporcionará un procedimiento inequívoco para el planteamiento y resolución de las ecuaciones que conducen a la asignación de costes. La exergo economía simbólica (EXS<sup>2</sup>) permitirá obtener relación funcional entre las variables termoeconómicas utilizadas para describir los sistemas energéticos.

Se concluye que el siguiente trabajo podrá arrojar la cantidad de energía y exergía, si está siguiendo usada eficientemente y que su balance económico del precio final del producto sea el adecuado.

---

<sup>1</sup>Cantidad de exergía que ha sido necesaria para producir los flujos y de una planta.

<sup>2</sup> Permite obtener las relaciones funcionales entre las variables termodinámicas utilizadas para describir los sistemas energéticos.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Realizar el análisis termoeconómico al sistema de generación de hielo de la fábrica SERFIN S.A.C para proponer mejoras a la productividad.

### **Objetivos Específicos**

- ✓ Identificar y analizar el proceso de producción de hielo.
- ✓ Diagnosticar el estudio de mercado y evaluación de los costos de producción.
- ✓ Analizar termoeconómicamente el sistema de producción de hielo.
- ✓ Proponer alternativas de mejora para el sistema de producción de hielo.
- ✓ Realizar el análisis termoeconómico comparativo.

### **PROBLEMA**

¿UN ANALISIS TERMoeCONÓMICO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA  
DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE HIELO PERMITIRA LA MEJORA DE  
LA PRODUCTIVIDAD?

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El siguiente proyecto es importante porque al realizarse el análisis termoeconómico en el proceso de producción de hielo, podremos dar dos aspectos importantes como es el balance termodinámico y el balance económico, teniendo en cuenta que para el balance termodinámico se puede clasificar en dos grupos, según su objetivo principal, es la optimización del uso de la energía, analizando los costes de flujo interno y producción del proceso termodinámico. Sin embargo, todas ellas parten del reconocimiento de que la exergía es la propiedad que expresa la utilidad de la termodinámica de los productos funcionales de índole energético y que de, por tanto, la asignación de costes debe estar basados en esta realidad.

Al realizar el análisis termoeconómico en la fábrica SEFRIN S.A.C, esta se beneficiará económicamente ya que por medio de los estudios que se realizarán, se determinará el consumo energético para poder elaborar el producto y también localizará las zonas donde se encuentra las mayores pérdidas de energía para que puedan ejecutarse las posibles soluciones.

Esto conllevará al uso eficiente de la energía tanto eléctrica que se encuentra inmerso en el proceso y esto conlleva a la disminución del impacto generado por emisiones de gases de efecto invernadero (fugas de gas refrigerante) que contaminan el agua utilizada en el proceso de producción.

En las posibles soluciones podría ser necesario hacer mejoras en los equipos ya existentes o la implementación de nuevos equipos que tengan mayor eficiencia. Esto nos ayudará a definir las mejoras del proceso, cuál es su cantidad de producción, el tipo de producto que nos arrojará, cuanto tiempo demorará para realizar un lote determinado del producto y cuanto es su consumo energético para elaborar lo antes mencionado, así después de realizar los estudios mencionados y tener identificadas las zonas donde ocurre la mayor pérdida de energía, propondremos las mejoras de está, utilizando los equipos ya evaluados y que mejorarán y nos darán resultados positivos.

## MARCO TEÓRICO

Para poder realizar un análisis termoeconómico primero tenemos que realizar un balance termodinámico, luego un balance exergético y así obtener los valores exergoeconómicos se detallan:

### 1. Balance termodinámico

El análisis termodinámico nos permite determinar las características termodinámicas de un sistema bajo estudio, donde un sistema es la región o conjunto de materia en el espacio que es seleccionada para su análisis.

- a. **Primera ley de la termodinámica:** Es una generalización de observaciones experimentales y expresa lo siguiente: el valor del trabajo neto realizado por o sobre un sistema cerrado durante un proceso adiabático el cual lleva al sistema a un estado inicial a otro final depende sólo de los estados inicial y final del sistema, y es independiente del tipo de trabajo, de los detalles del proceso y de la naturaleza del sistema.

$$(U_2 - U_1) + (EK_2 - EK_1) + (EP_2 - EP_1) = Q - W$$

- b. **Segunda ley de la termodinámica:** Cuando dos sistemas se encuentran en diferentes estados, existe un potencial de generar trabajo al pasar estos de sus estados iniciales a un estado de equilibrio mutuo. La Segunda Ley de Termodinámica permite determinar el trabajo máximo que se obtiene de manera teórica en dicho proceso y evaluar los factores que reducen este valor.

$$Q_{1,2} - W_{1,2} = E_2 - E_1$$

- c. **Procesos de irreversibilidad:** La irreversibilidad de un proceso es establecida a través de la segunda ley de la termodinámica, en consecuencia, un proceso irreversible se encuentra asociado a un incremento en la generación de entropía del sistema. El objetivo final en el análisis de un sistema utilizando los principios de la segunda ley de la termodinámica es ser capaz de reconocer las irreversibilidades, evaluar su influencia y, desarrollar los medios efectivos para reducirlas. La exergía es una propiedad termodinámica que está presente cuando se analizan procesos reales, es decir de procesos irreversibles.

## 2. Análisis exergético

Es una técnica relativamente nueva basada en el concepto de exergía, definido en términos generales como el potencial de generar trabajo que poseen diferentes formas de energía en relación con un ambiente determinado. Con el método de análisis exergético es posible por un lado identificar las pérdidas termodinámicas internas en un sistema y por otro comparar entre distintas formas de energía. Por otra parte, un análisis exergético proporciona una medida cuantitativa de la calidad de las diferentes formas de energía.

- a. Concepto de exergía:** La exergía es una propiedad termodinámica que permite determinar el potencial de trabajo útil de una determinada cantidad de energía que se puede alcanzar por la interacción espontánea entre un sistema y su entorno. Informa de la utilidad potencial del sistema como fuente de trabajo. Siendo que es una propiedad, hay que tener en cuenta que el valor de una propiedad no cambia a menos que cambie el estado de la materia, es decir el valor se mantiene siempre y cuando se mida en el mismo estado independientemente de la temperatura o la presión a la que se encuentre.

Cuando dos sistemas en diferentes estados entran en contacto, existe una oportunidad de generar trabajo al pasar ambos de sus respectivos estados iniciales a un estado de equilibrio mutuo. Si el proceso ocurre de manera reversible, entonces el trabajo generado tiene el valor máximo. Cuando hay irreversibilidades presentes durante el proceso, entonces parte del potencial de generar trabajo que existía desde el origen es disipado. En ausencia de efectos nucleares, magnéticos, eléctricos y de tensión superficial, la exergía total de un sistema puede dividirse en cuatro componentes: exergía física, cinética, potencial y química, es decir:

$$E = \dot{E}^{PH} + \dot{E}^K + \dot{E}^P + \dot{E}^{CH}$$

- b. Balance de exergía:** Así como la masa, energía y entropía, la exergía también es una propiedad, entonces ésta puede ser transferida hacia dentro o hacia afuera del volumen de control cuando las corrientes de materia ingresan y salen de él, dicho de otra manera la exergía es una función de estado.



$$\Delta E = \dot{E}_W + \dot{E}_Q - \dot{E}_D$$

Dónde:

$\Delta E$ = Variación de la exergía.

$\dot{E}_W$ =Exergía de trabajo.

$\dot{E}_Q$ = Exergía de Calor.

$\dot{E}_D$ = Exergía destruida.

El balance de exergía de una instalación nos permite localizar y cuantificar las irreversibilidades con que se desarrolla el proceso productivo, e identificar qué equipos y por qué causas, son responsables de su ineficiencia. Buena parte de los trabajos publicados sobre análisis exergético se limitan a determinar la irreversibilidad y rendimiento de la planta y de sus equipos. Esta información está dada en [2].

### 3. Termoeconomía

La Termoeconomía como ciencia implica la combinación de los conceptos de la termodinámica y economía, los cuales nos ayudan en la comparación de alternativas de diseño, no sólo se lleva a cabo desde el punto de vista energético, sino también, conduce en ocasiones a seleccionar la mejor alternativa en términos económicos. Por ello, en todo proceso se requiere un balance entre la eficiencia energética y el costo económico.

Se da a conocer una línea de tiempo de la introducción del término de termoeconomía:

El-Sayed y Evans (1970), introducen el concepto de termoeconomía, donde se asignan costos a las ineficiencias de un sistema.

Tsatsaronis (1985) propone el análisis exergoeconómico de las plantas de conversión de energía.

Valero (1986) propone la teoría del Costo Exergético.

Torres (1991) presenta en su tesis doctoral una formalización de los fundamentos de la Teoría del Coste Exergético en términos de la Exergoeconomía Simbólica con la cual pretende sentar las bases matemáticas de la termoeconomía. Demuestra mediante la teoría de la optimización termoeconómica que los costes unitarios de la Teoría del Coste Exergético

coinciden con los costes marginales del Análisis Termoeconómico Funcional. Presenta la aplicación de la Exergoeconomía simbólica a la simulación de sistemas térmicos, teoría de las perturbaciones, simulación de un ciclo de vapor y al análisis de una planta de cogeneración.

Arena y Borchellini (1999) presentan un ejemplo de análisis termoeconómico de una planta de ciclo combinado situada en Turín, norte de Italia, se utilizó modelo matemático modular construido con la herramienta Simulink. La planta consta de dos unidades. Cada unidad tiene dos turbinas de gas, dos HRSG y una turbina de vapor. El análisis termoeconómico compara cuatro estructuras productivas para la misma configuración de la planta:

1. Estructura productiva solo con flujos exergéticos.
2. Estructura productiva con flujos de exergía y negentropía<sup>3</sup>.
3. Estructura productiva con flujos térmicos, mecánicos, exergía química y negentropía.
4. Estructura productiva con flujos térmicos, mecánicos, exergía química y negentropía separando los componentes del sistema físico en componentes funcionales.

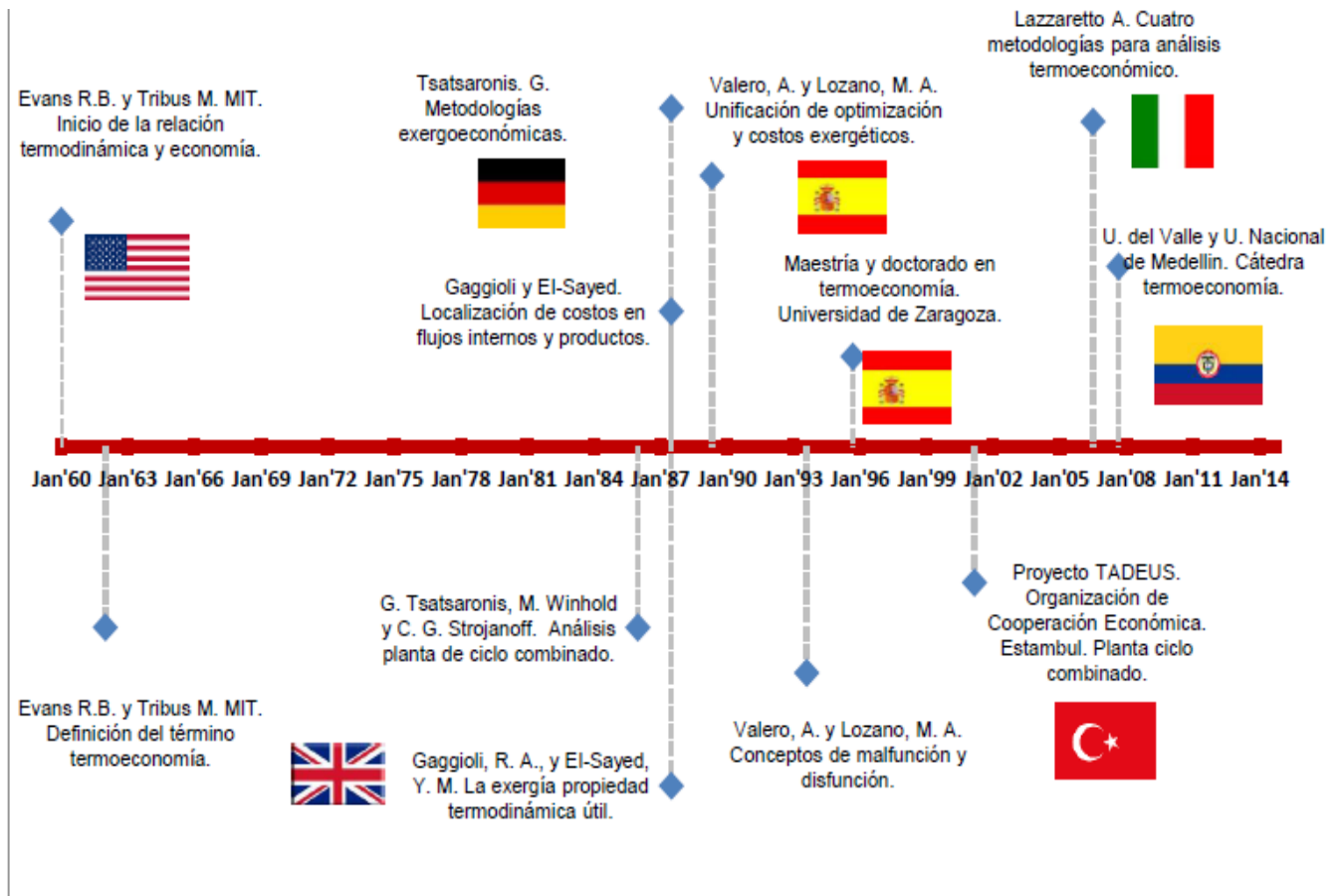
En todos los casos se obtiene el mismo costo para el producto del sistema. Se obtienen reglas que indican en qué condiciones se puede emplear cada estructura.

El problema fundamental de la asignación de costo puede formularse como sigue [1]; Dado un sistema cuyos límites han sido definidos, y un nivel de agregación que especifica los subsistemas [1]; que lo componen, obtener el coste de todos los flujos que se interrelacionan en dicho proceso. Lógicamente para la asignación de valores numéricos a dicho proceso tienen que estar bien determinados.

---

<sup>3</sup> También llamada entropía negativa o sintropía, de un sistema vivo, es la entropía que el sistema exporta para mantener su entropía baja; se encuentra en la intersección de la entropía y la vida.

**Figura 1. Evolución de la termoeconomía**



**Fuente: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Económicas, Maestría en Administración [3]**

El objetivo de la Termoeconomía es sentar las bases teóricas del ahorro de energía, para ello deberá formular criterios generales que permitan evaluar la eficiencia de los sistemas energéticos y que expliquen de manera racional cuál es el proceso de formación del coste de sus productos.

Los sistemas de refrigeración también han sido analizados y optimizados utilizando la teoría de costo exergético, para minimizar los costos económicos de todos sus flujos internos y productos [4], elaborando un modelo para el ciclo de refrigeración combinado [5], también fraccionando la destrucción de exergía del sistema en parte endógena obtenida por un componente operando en su eficiencia real y exógena de un componente cuando es generada por irreversibilidades de otros componentes y la estructura del sistema global, así como las pérdidas evitables e inevitables las cuales no pueden ser eliminadas con la tecnología actual [6].

#### 4. Análisis exergoeconómicos

El análisis exergoeconómico parte del supuesto de que se conoce la topología del sistema y los valores termodinámicos de las propiedades de todos los flujos. Es decir, se conoce la exergía de cada flujo, la cual es la energía utilizable en cada flujo. Los pasos para elaborar un estudio termoeconómico se puede plantear de esta manera:

- a. Hallar los costos exergoeconómicos (CE) del sistema.

#### 5. Hielo

El agua en el mundo está presente en tres estados naturales que son líquidos, gaseosos y sólidos. El hielo está en estado sólido por tanto el agua sólida cristalizada es el hielo.

El hielo seco es el dióxido de carbono congelado.

**Propiedades:** Es incoloro y transparente, para obtener otras propiedades se recurre a experimentos y la utilización de equipos más complejos, por ejemplo se tiene que el hielo es cristalizado en el sistema hexagonal, a 0°C tiene una densidad relativa de  $0.9168 \text{ g/cm}^3$  comparada con la densidad de  $0.998 \text{ g/cm}^3$  del agua a la misma temperatura, como consecuencia el hielo flota en el agua. El agua se expande al solidificarse, el aumento de la presión tiende a transformar el hielo en agua. En efecto no es tan marcado para los aumentos de presión. Por ejemplo, con presión de 100 atmosferas el punto de fusión del hielo es de 1°C, menor a una presión normal. Mientras a presiones mal altas se forman varias modificaciones alotrópicas u ortótropas (diferentes formas de un elemento existente en el mismo estado físico).

A estas formas se les denomina Hielo II, Hielo III, Hielo IV, Hielo V, Hielo VI y Hielo VII el ordinario es el Hielo I. Estos ortótropos son más densos que el del agua y su punto de fusión incrementa al aumentar la presión.

**Tabla 1. Propiedades del hielo**

Propiedades	Unidades Métricas	Observaciones
Densidad		
Hielo de agua dulce	$0,2 \text{ kg/l}_3$	A 0°C.
Hielo de agua de mar	$0,96-0,92 \text{ kg/m}^3$	Depende de la salinidad y de la cantidad de aire atrapado.
Calor específico		Para calcular la cantidad de hielo que se ha de emplear con el pescado es suficientemente exacto el valor de 0.5
0°C	0,49	
20°C	0,46	
Calor latente de fusión	$80 \text{ kcal/kg}$	
Conductividad térmica	$\text{kcal/m. h. } ^\circ\text{C}$	
-0°C	1,91	
-10°C	1,99	
-20°C	2,08	
Punto de fusión	0 °C	El punto de fusión del hielo de agua de mar es indeterminado, no es uniforme en todo el hielo, pero esta alrededor de 2°C.
Hielo en bloques	1.4	
Hielo en bloques machacados	1.4-1.5	
Hielo en escamas	2.2-2.3	
Hielo en cubos	1.6-2.0	
Hielo en placas	1.7-1.8	

Fuente: <http://www.fao.org/docrer/003/T0713S/T0713S00.HTM>

**Estructura cristalina del hielo:** Las moléculas de agua a presión atmosférica se estructuran de manera tetraédrica en función del enlace de hidrogeno, se ocasiona que al momento de solidificarse el agua las moléculas se juntan de manera compacta. El cristal de hielo tiene una estructura hexagonal espaciada ( $a=7.5\text{Å}$ ,  $c=7.3\text{Å}$ ). Esta estructura se denomina “Hielo 1h ”o “hielo lh”.

**Tabla 2. Estructura del hielo**

Hielo	Temperatura y presión	Estructura	Densidad aprox.
Hielo Ic	Baja temperatura	Cúbica de facetas centradas.	0,9
Hielo II	Baja temperatura	Ortorrónica centrado.	1,2
Hielo III	Baja temperatura	Tetragonal.	1,1
Hielo V	Baja temperatura y alta presión.	Monoclínica de base centrada.	1,2
Hielo VI	Baja temperatura y alta presión.	Tetragonal.	1,3
Hielo VII	Alta temperatura y alta presión.	Cúbica sencilla.	1,7
Hielo VIII	Alta temperatura.	Tetragonal centrada.	1,6
Hielo IX	Alta temperatura.	Tetragonal.	1,2
Hielo XII	Baja temperatura y alta presión.	Tetragonal.	1,3

## **6. Sistemas de refrigeración**

Los sistemas de refrigeración para la conservación de alimentos, fabricación de hielo y el aire acondicionado juegan un papel destacado en la vida cotidiana actual y se clasifican en los siguientes sistemas de vapor, por absorción y con gas.

- ✓ **Sistemas de refrigeración con vapor:** El objetivo de un sistema de refrigeración es mantener una región fría a una temperatura por debajo de la del entorno. Esto se consigue habitualmente empleando un sistema de refrigeración que utiliza gas refrigerante. Para introducir algunos aspectos importantes de la refrigeración empezaremos considerando un ciclo de Carnot de refrigeración de vapor.
- ✓ **Refrigeración por absorción:** Estos ciclos tienen algunas características comunes a los ciclos con compresión de vapor considerados anteriormente, pero difieren en dos aspectos importantes. Uno es la naturaleza del proceso de compresión. En lugar de una compresión del vapor entre el evaporador y condensador, en un ciclo de absorción el refrigerante es absorbido por una sustancia secundaria, llamada absorbente, para formar una solución líquida.

La solución líquida se comprime hasta alta presión. Dado que el volumen específico medio de la solución líquida es mucho menor que el del vapor de refrigerante, el trabajo necesario es significativamente menor. Consecuentemente, los sistemas de refrigeración por absorción tienen la ventaja, respecto a los sistemas con compresión de vapor, de necesitar menor potencia para la compresión [7].

- ✓ **Sistemas de refrigeración con gas:** Los sistemas de refrigeración con gas tienen un número importante de aplicaciones. Se utilizan para conseguir temperaturas muy bajas que permiten la licuación de aire y otros gases y para otras aplicaciones específicas tales como la refrigeración de cabinas de aviones. El ciclo Brayton de refrigeración se presenta como un tipo importante de sistema de refrigeración de gas.

## 7. Funcionamiento de una fábrica de hielo

Para fabricar hielo se puede utilizar tanto agua dulce como agua salada (de mar), depende del lugar en que se ubique la fábrica de hielo se seleccionará la materia prima.

Tipos de hielo y su fabricación:

- ✓ Hielo en escamas: Se ventila o rocía agua sobre una superficie refrigerada, que mayormente tiene forma de cilindro o tambor.
- ✓ Hielo fundente: Se forma por congelar los cristales a partir de una salmuera con concentraciones bajas en un intercambiador de calor tubular, la salmuera a utilizar tiene una concentración de 3 a 5 por ciento de NaCl (Sal) por lo que se puede usar agua de mar.
- ✓ Hielo en tubos: Se forman en una superficie interna de tubos verticales y tiene la forma de pequeños cilindros huecos de 50 x 50 mm, con paredes de 10 a 12mm de espesor.
- ✓ Hielo en placas: Se forma en una cara de la placa vertical refrigerada y se desprende haciendo circular agua por la otra cara para hacer descarchado. El agua debe tener una temperatura de 25 °C. Existen sistemas que forman hielo en ambas superficies y el descarchado es interno.

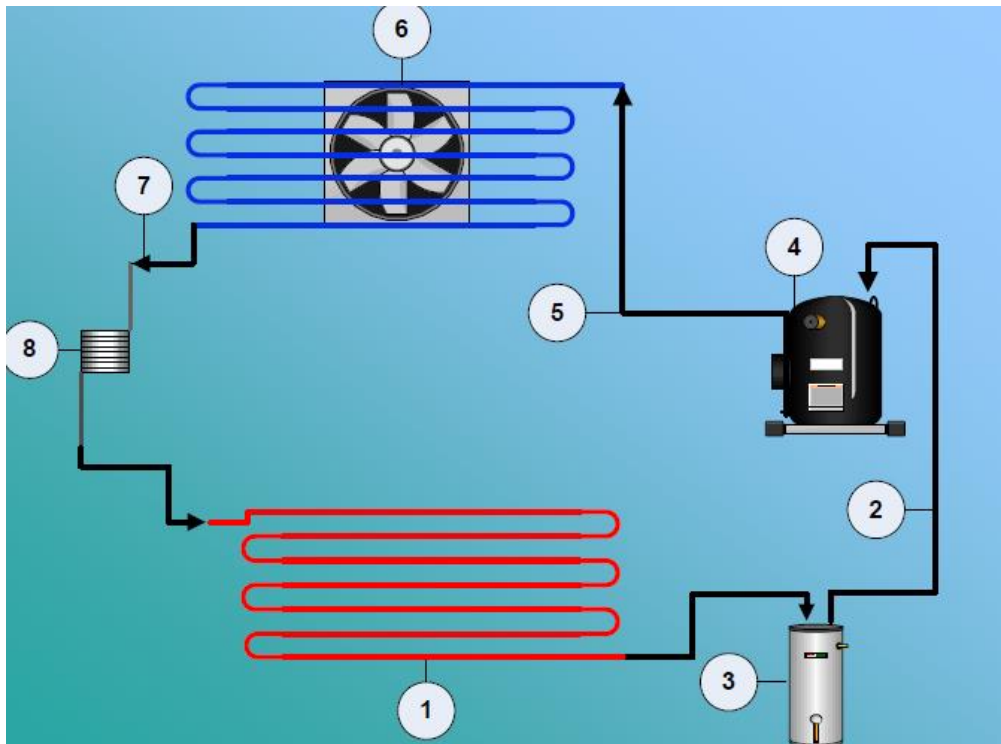
- ✓ Hielo en bloques: Es la forma más vendida debido a la variedad de razones, pero en especial a que los bloques de hielo se derriten más lentamente que los otros tipos de hielo,

Descripción del proceso de fabricación de hielo:

- Evaporador (1): Superficie donde se efectuará la transferencia de calor a través del cual puede pasar calor del espacio o producto refrigerado hacia el refrigerante.
- Tubo de sección (2): Se transporta el vapor de baja presión desde el evaporador hasta la entrada del compresor.
- Botella de aspiración (3): Botella anti golpes de líquido. Este recipiente se coloca en el tubo de aspiración en un punto próximo al compresor y tiene como finalidad impedir la aspiración accidental de fluido líquido por el compresor.
- Compresor de Vapor (4): Elimina el vapor del evaporador, eleva la temperatura y presión del vapor hasta un punto tal que el vapor pueda ser condensado a través de un medio condensante disponible.
- Tubo de descarga (5): Entrega el vapor de presión y temperatura alta desde la descarga del compresor hasta el condensador.
- Condensador (6): Proporciona una superficie de transferencia de calor a través de la cual pasará el calor del vapor refrigerante hacia el medio condensante.
- Tubería de líquido (7): Conduce el refrigerante líquido desde el condensador hasta el control de flujo de refrigerante.
- Control del flujo refrigerante (8): Mide el flujo de refrigerante apropiado para el evaporador y reduce la presión del líquido que llega del evaporador.



**Figura 2. Principales elementos de un sistema de refrigeración de vapor**

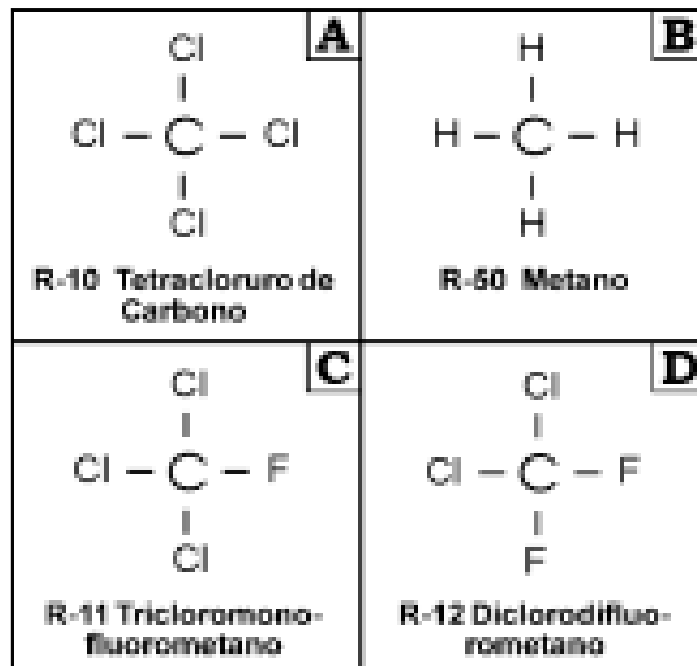


**Fuente:** Universidad Nacional de Santander. Facultad de Ingeniería Físico-Mecánico. Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Bucaramanga.

**7.1. Refrigerante.** - De manera general, un refrigerante es cualquier cuerpo o sustancia que actúe como agente de enfriamiento, absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia. Desde el punto de vista de la refrigeración mecánica por evaporación de un líquido y la compresión de vapor, se puede definir al refrigerante como el medio para transportar calor desde donde lo absorbe por ebullición, a baja temperatura y presión, hasta donde lo rechaza al condensarse a alta temperatura y presión. Los refrigerantes son los fluidos vitales en cualquier sistema de refrigeración mecánica. Cualquier sustancia que cambie de líquido a vapor y viceversa, puede funcionar como refrigerante, y dependiendo del rango de presiones y temperaturas a que haga estos cambios, va a tener una aplicación útil comercialmente. Existe un número muy grande de fluidos refrigerantes fácilmente licuables; sin embargo, sólo unos cuantos son utilizados en la actualidad. Algunos se utilizaron mucho en el pasado, pero se eliminaron al incursionar otros con ciertas ventajas y características que los hacen más apropiados.

Recientemente, se decidió discontinuar algunos de esos refrigerantes antes del año 2000, tales como el R-11, R-12, R-113, R-115, etc., debido al deterioro que causan a la capa de ozono en la estratósfera. En su lugar, se van a utilizar otros refrigerantes como el R-123, el R-134a y algunas mezclas ternarias. Los grandes fabricantes de refrigerantes, siguen trabajando en el desarrollo de nuevos productos. Los refrigerantes se identifican por números después de la letra R, que significa "refrigerante". El sistema de identificación ha sido estandarizado por la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). Es necesario estar familiarizados con los números, así como con los nombres de los refrigerantes. En la siguiente tabla, aparecen los refrigerantes más comunes. Cabe mencionar que las mezclas zeotrópicas, son refrigerantes transitorios que se desarrollaron para substituir al R-22 y al R-502, aunque algunas de estas, van a permanecer como sustitutos de estos refrigerantes.

**Figura 3. Formulas estructurales de refrigerante**



**Tabla 3 Tipos de refrigerantes**

No.	Nombre Químico	Formula Química
<b>Serie Metano</b>		
10	Tetraclorometano (Tetracloruro de carbono).	$CCl_4$
11	Tricloromonofluorometano.	$CCl_3F$
12	Diclorodifluorometano.	$CCl_2F_2$
13	Clorotrifluorometano.	$CCLF_3$
20	Triclorometano (cloroformo).	$CHCl_3$
21	Diclorofluorometano.	$CHCl_2F$
22	Clorodifluorometano	$CHClF_2$
23	Trifluorometano	$CHF_3$
30	Diclorometano (cloruro de metileno).	$CH_2Cl_2$
40	Clorometano (cloruro de metilo).	$CH_3Cl$
50	Metano.	$CH_4$
<b>Serie Etano</b>		
110	Hexacloroetano.	$CCl_3CCl_3$
113	1,1,2-Triclorotrifluoroetano.	$CCl_2FCCLF_2$
115	Cloropentafluoroetano.	$CClF_2CF_3$
123	2,2-Dicloro – 1,1,1-Trifluoroetano.	$CHCl_2CF_3$
134a	1,1,1,2-Tetrafluoroetano.	$CHCl_2FCF_3$
141b	1,1-Dicloro -1-fluoroetano.	$CH_3CCl_2F$
150a	1,1- Dicloroetano.	$CH_3CHCl_2$
152a	1,1-Difluoroetano.	$CH_3CHF_2$
160	Cloroetano (cloruro de etilo).	$CH_3CH_2Cl$
170	Etano	$CH_3CH_3$
<b>Hidrocarburo</b>		
290	Propano .	$CH_3CH_2CH_3$
600	Butano.	$CH_3CH_2CH_2CH_3$
600a	2-Metilopropano (isobutano).	$CH(CH_3)_3$
<b>Compuestos Inorgánicos</b>		
702	Hidrógeno.	$H_2$
704	Helio.	$He$

717	Amoniaco.	$NH_3$
718	Agua.	$H_2O$
720	Neón.	$Ne$
728	Nitrógeno.	$N_2$
732	Oxígeno.	$O_2$
744	Bióxido de Carbono.	$CO_2$
764	Bióxido de Azufre.	$SO_2$
<b>Mezclas Zeotrópicas</b>		
400	R-12/114(60/40).	
401A	R-22/152a/124(53/13/34).	
401B	R-22/152a/124(61/11/28).	
402A	R-22/125/290(38/60/2).	
402B	R-22/125/290(60/38/2).	
404A	R125/143a/134a(44/52/4).	
407A	R-32/125/134a(20/40/40).	
407B	R-32/125/134A(10/70/20)	
407C	R-32/125/134a(23/25/52)	
408A	R-125/143a/22(7/46/47).	
409A	R-22/124/142b(60/25/15)	
410A	R-32/125(50/50)	
<b>Mezclas Azeotrópicas</b>		
500	R-12/152a(73.8/26.2).	
502	R-22/115(48.8/51.2).	
503	R-223/13(40.1/59.9).	
507	R-125/143a(50/50)	

Fuente <http://www.indubel.com.ar/pdf/gases/refrigerantes.pdf>

Un refrigerante ideal deberá reunir todas las propiedades siguientes.

**Propiedades termodinámicas:** Son aquellas que tienen relación con el movimiento del calor. Estas propiedades se publican para cada refrigerante en forma de tablas. Estas tablas se dividen en dos secciones: Propiedades de Saturación de Líquido y Vapor, y Propiedades del Vapor Sobrecalentado. Las primeras se dan

comúnmente a intervalos de temperatura, y las segundas, se dan tanto a intervalos de presión, como de temperatura.

- **Presión:** Las presiones que actúan en un sistema de refrigeración, son extremadamente importantes. En primer término, se debe operar con presiones positivas; es decir, las presiones tanto en el condensador como en el evaporador, deben ser superiores a la presión atmosférica. Si la presión en el evaporador es negativa, es decir, que se esté trabajando en vacío, hay riesgo de que por una fuga entre aire al sistema. Por esto, el refrigerante debe tener una presión de evaporación lo más baja posible, pero ligeramente superior a la presión atmosférica.
- **Temperatura:** Hay tres temperaturas que son importantes para un refrigerante y que deben ser consideradas al hacer la selección. Estas son: la de ebullición, la crítica y la de congelación. La temperatura de ebullición de un refrigerante, siempre es referida a la presión atmosférica normal de 101.3kPa (0 psig). Se puede decir, que el punto de ebullición de cualquier líquido, es la temperatura a la cual su presión de vapor es igual a la atmosférica. El punto de ebullición de un refrigerante debe ser bajo, para que aun operando a presiones positivas, se pueda tener una temperatura baja en el evaporador.
- **Volumen:** Cuando se comparan densidades de gases, es común expresarlas en volumen específico. El volumen específico de un refrigerante en fase vapor, no es otra cosa, que el volumen en metros cúbicos ( $m^3$ ) o en litros (l) que ocupará un kilogramo de refrigerante a condiciones normales; esto es, a una temperatura de 20°C y a la presión atmosférica de 101.3kPa. (14.7 PSia).
- **Entalpia:** Es la propiedad que representa la cantidad total de energía térmica o contenido de calor, en un fluido. Sus unidades son kcal/kg. Para la mayoría de los refrigerantes, se considera que su entalpia es cero a una temperatura de

saturación de  $-40^{\circ}\text{C}$ . Entonces, el calor agregado o sustraído de un refrigerante, desde ese punto, se considera que es su entalpía total. En la mayoría de los trabajos de transferencia de calor, se manejan los cambios de entalpía que ocurren durante un proceso. Generalmente, no hay necesidad de conocer el contenido de energía absoluta.

- Densidad: Los líquidos tienen diferentes valores de peso por metro cúbico o por litro, lo que se conoce como densidad. La mayoría de los refrigerantes en estado líquido, tienen una densidad más alta que el agua (gravedades específicas arriba de 1.0). La densidad de cada refrigerante varía con la temperatura. Puesto que, por regla, los líquidos se expanden al calentarse, su densidad a altas temperaturas es menor que a bajas temperaturas.
- Entropía: Un proceso de compresión ideal, seguiría una línea de entropía constante en el diagrama de presión - entalpía (diagrama de Mollier). Al igual que las otras propiedades termodinámicas de los refrigerantes, también se tienen en la tabla valores para el líquido y para el vapor a intervalos de temperaturas. Similar a la entalpía, el valor de entropía de un refrigerante líquido a  $-40^{\circ}\text{C}$ , es 0, y los valores que realmente importan, son los cambios de entropía desde una temperatura de saturación a otra. El cambio de entropía es una medida de la energía no disponible, que resulta del cambio de propiedades de un refrigerante. El cambio de entropía, es la suma de todos los incrementos diferenciales de calor ( $\text{kcal/kg}$ ), divididos por la temperatura absoluta ( $^{\circ}\text{C} + 273 = \text{K}$ ) existente, en el momento que cada incremento diferencial se haya añadido o removido, de aquí que sus unidades son  $\text{kcal}/(\text{kg})(\text{K})$ .

**7.2. Amoníaco.** - El amoníaco ( $\text{NH}_3$ , R717) se reconoció como refrigerante alrededor de 1860, cuando el francés Ferdinand Carre patentó un sistema de refrigeración de tipo absorción en el que utilizaba amoníaco como refrigerante y agua como agente de absorción. Unos diez años después, el estadounidense David Byle desarrolló un compresor que se podía utilizar con amoníaco. Ambos principios se desarrollaron posteriormente, pero es del sistema del compresor el que ahora domina el mercado, es decir, el mercado industrial en el que, por razones de seguridad está confinada la refrigeración por amoníaco. Como fluido frigorífico el amoníaco presenta numerosas ventajas siendo las más importantes las siguientes:

- a.** Posee buenas propiedades termodinámicas, de transferencia de calor y de masa, en particular dentro de las condiciones definidas de servicios y el coeficiente de performance de máquinas es uno de los mejores.
- b.** Es químicamente neutro para los elementos de los circuitos frigoríficos, salvo para el cobre y sus aleaciones que son materiales ampliamente usados en las instalaciones con fluidos halogenados. Es por eso que no se debe cargar amoníaco en los circuitos con refrigerantes halogenados.
- c.** El amoníaco no se mezcla con el aceite de lubricación.
- d.** No es sensible a la presencia de aire húmedo o del agua.
- e.** Es fácilmente detectable en caso de fuga así sea muy leve, de esta forma es muy difícil tener una falla del circuito por vaciado progresivo de la instalación. El amoníaco es el fluido frigorífico de menor costo en su valor de compra.
- f.** Las máquinas frigoríficas a amoníaco son de un precio muy competitivo en inversión inicial y costo de funcionamiento (buen aprovechamiento de la energía).

**7.3. Salmuera.** - La salmuera es agua con una concentración de sal superior al 5% (NaCl) disuelta. Existen ríos y lagos salados en donde no hay vida por el exceso de sal y de donde se extrae la salmuera, principalmente para obtener su sal evaporando el agua en salinas. La salmuera puede ser venenosa para algunos animales que beben de esta. Por extensión, también se llama salmuera a disoluciones altamente concentradas de otras sales.

En refrigeración recibe el nombre de salmuera toda solución acuosa que se utiliza como medio de transferencia de calor cuando la temperatura es inferior a 0°C. Se utilizan tres tipos de salmueras:

- ✓ Solución acuosa de sales inorgánicas, por ejemplo, cloruro de calcio, cloruro de sodio dicromato sódico. Para muy bajas temperaturas se utilizan mezclas eutécticas.
- ✓ Solución acuosa de compuestos orgánicos, como alcoholes y glicoles: etanol, metanol, etilenglicol y propilenglicol son los más frecuentes.
- ✓ Hidrocarburos y halocarburos clorados o fluorados.

La salmuera se distingue del agua salobre en que esta última tiene una menor concentración de sal. Es una mezcla heterogénea.

***La clasificación de las salmueras puede hacerse en:***

- Salmueras de tipo salino.
- Salmueras a base de glicol: (etilenglicol y propilenglicol).
- Salmueras para bajas temperaturas (alcoholes).
- Salmueras para aplicaciones especiales (aceites térmicos).

### **Las aplicaciones**

Aplicaciones Específicas como en las pistas de patinaje.

Industria Alimentaria; para enfriamiento y congelación por inmersión directa.

La Fabricación de Hielo en Barras.

Las Aplicaciones de Tipo Industrial.

En instalaciones centralizadas de aire acondicionado.

Permiten el almacenamiento.



Presentan problemas de corrosión, por lo que el sistema debe mantenerse sobrepresionado y sin contacto con la atmósfera.

Los sistemas de distribución para las salmueras son similares a los de agua en circuito cerrado. La diferencia fundamental reside en la viscosidad Las salmueras son líquidos térmicamente inferiores al agua, por lo que es preciso gastar más energía de bombeo.

Factores para seleccionar la salmuera:

El coste de las salmueras, y de los tratamientos del agua y los inhibidores.

La corrosión y la incompatibilidad con ciertos materiales.

La toxicidad, especialmente cuando el producto a enfriar sea algún alimento, o cuando haya contacto con personas.

El calor específico que determina el caudal másico.

La estabilidad a temperatura elevada.

La viscosidad, incide en la energía de bombeo.

El punto de congelación de las salmueras.

La tensión de vapor.

**Tabla 4. Agua**

	Agua	Agua Glicolada				
% en peso	0	10	20	30	40	50
T° congelación (°C)	0	-3.2	-7.8	-14.1	-22.3	-33.8
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1	1.02	1.03	1.05	1.06	1.08
Calor específico (kJ/kg.°C)	4.197	3.966	3.811	3.642	3.456	3.262
Conductividad eléctrica (W/m.°C)	0.582	0.528	0.486	0.447	0.411	0.377
Viscosidad dinámica (mPa.s)	1.44	1.61	2.29	2.99	4.19	5.7

## 8. Productividad

Es el indicador de eficiencia que relaciona la cantidad de recursos utilizados con la cantidad de producción obtenida. Se denomina producción a cualquier tipo de actividad destinada a la fabricación, elaboración u obtención de bienes y servicios. En tanto la producción es un proceso complejo, requiere de distintos factores que pueden dividirse en tres grandes grupos, a saber: la tierra, el capital y el trabajo. La tierra es aquel factor productivo que engloba a los recursos naturales; el trabajo es el esfuerzo humano destinado a la creación de beneficio; finalmente, el capital es un factor derivado de los otros dos, y representa al conjunto de bienes que además de poder ser consumido de modo directo, también sirve para aumentar la producción de otros bienes. La producción combina los citados elementos para satisfacer las necesidades de la sociedad, a partir del reconocimiento de la demanda de bienes y servicios.

Los tipos de productividad:

$$Pm = \frac{Mps}{Mpi}$$

$$Pmo = \frac{Mps}{Mo}$$

$$Pe = \frac{Mps}{(Mo * C) + (Mpi * C) + (Ie - C)}$$

Dónde:

- ✓ Pm: Productividad de materiales.
- ✓ Pmo: Productividad de mano de obra.
- ✓ Pe: Productividad económica.
- ✓ Mps: Materia prima que sale (procesada).
- ✓ Mpi: Materia prima que ingresa.
- ✓ Mo: Mano de obra.
- ✓ C= costos.
- ✓ Ie: Insumos empleados

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Identificación del sistema de generación de hielo

#### 3.1.1 Datos de la Industria

**Razón social:** Servicios Frigoríficos Industriales S.A.C. - SEFRIN S.A.C

**R.U.C:** 20518625382.

**Fecha de fundación:** 01 de Abril de 2008.

**Sector económico de desempeño:** Venta de equipos de refrigeración, montaje de plantas de hielo y cámaras y venta de hielo industrial para el sector pesquero.

**Locación:** Sucursal Lambayeque, Panamericana Sur km. 764, Chosica del Norte - La Victoria – Chiclayo.

**Figura 4. Ubicación de la empresa SEFRIN S.A.C**



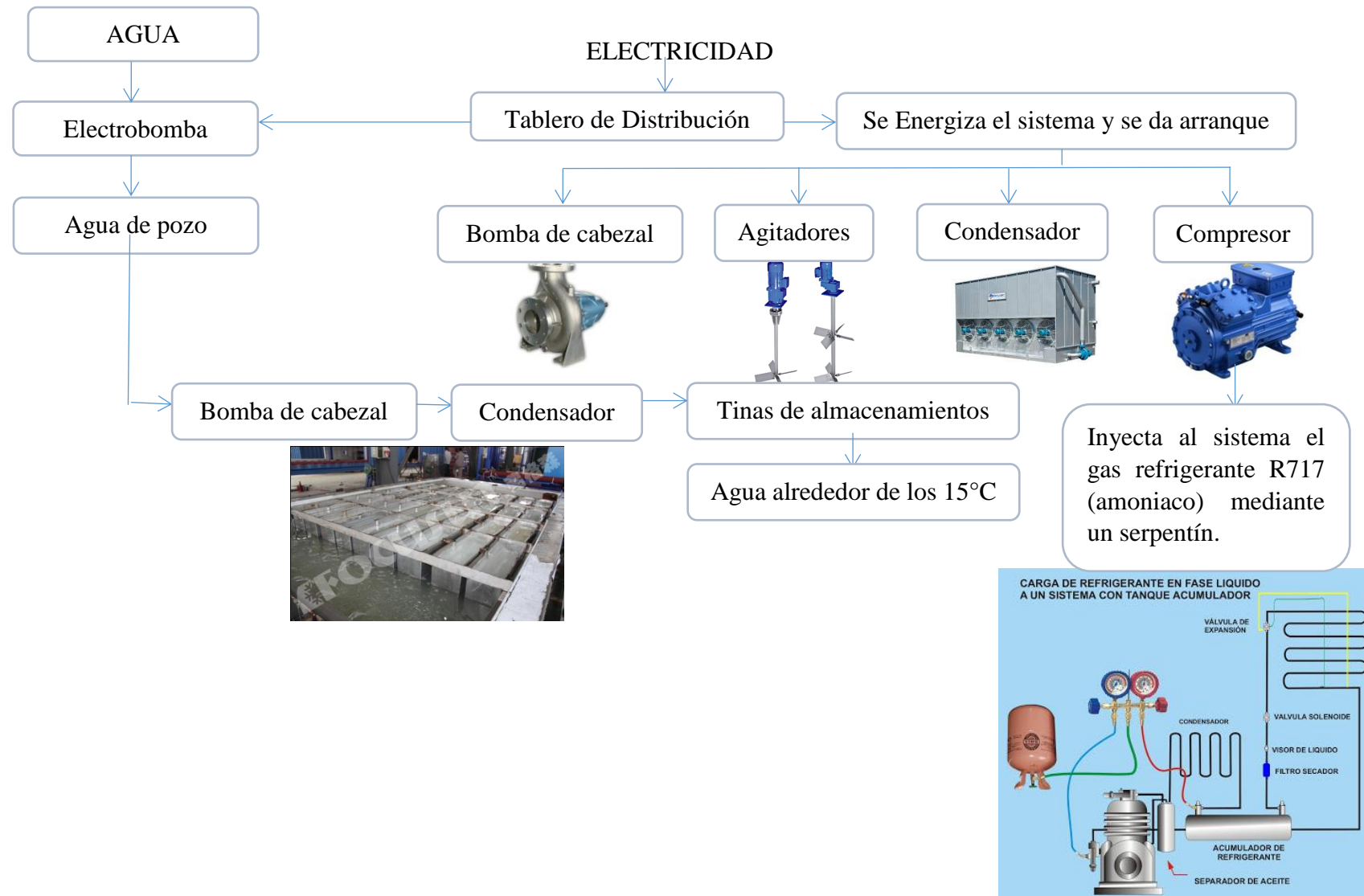
Fuente: Google Maps. Panamericana Sur km. 764, Chosica del Norte - La Victoria – Chiclayo.

**Figura 5. Ubicación de la empresa SEFRIN S.A.C**



Fuente: Google Maps. Panamericana Sur km. 764, Chosica del Norte - La Victoria – Chiclayo.

### 3.1.2 Diagrama de flujo de operación



### 3.1.3 Descripción del proceso

La fábrica SEFRIN S.A.C ubicada en la panamericana sur kilómetro 764 – Chosica del Norte distrito de La Victoria provincia de Chiclayo en el departamento de Lambayeque, la cual se dedica a la venta de equipos de refrigeración, montaje de plantas de hielo, cámaras y venta de hielo industrial en la mayoría para el sector pesquero, está formada por un administrador el Ingeniero Segundo Parcemón Madrid Aguirre y dos trabajadores en los cuales hacen funciones como el cuidado de la fábrica, en el mantenimiento, retirar el hielo de los bloques y su triturado.

Para la generación de hielo utilizan agua extraída de un pozo tubular que tienen dentro de las instalaciones y la única energía de la cual se abastecen es la energía eléctrica en la cual son cliente de media tensión de la concesionaria de la zona (ENSA) y tiene un pliego tarifario MT3.

El sistema de generación de hielo de la fábrica está conformado por:

- ✓ Pozo tubular: Del cual extraen el agua para la generación de hielo.
- ✓ Tablero eléctrico de distribución: En el cual están automatizado el sistema, el tipo de arranque de los motores, compresor y condensador.
- ✓ Condensador: El agua extraída pasa por el condensador para reducirle su temperatura a 14 – 16 °C, también el agua que sale del sistema pasa para poder ser reinyectada al sistema.
- ✓ Tanque de almacenamiento de amoníaco: Contenedor del gas refrigerante amoníaco (R717).
- ✓ Compresor: Para el refrigerante a utilizar que es el amoníaco o R717.
- ✓ Bomba de cabezal: Enfría por agua el compresor.
- ✓ Ventiladores del condensador: Para enfriamiento del agua.
- ✓ Agitadores: Tres motores que hacen girar la salmuera que está en el tanque donde están las tinas de almacenamiento.
- ✓ Serpentín con enfriador de aceite: Pasa el gas refrigerante hacia el sistema.
- ✓ Tina de almacenamiento: Poza metálica de cincuenta (50) kg donde se congela el agua y se forman los bloques de hielo.

- ✓ Lingada: Fila de tinas de almacenamiento la cual hace una tonelada de hielo para generar, la fábrica tiene una producción de cincuenta y cinco (55) toneladas de hielo por veinticuatro (24) horas.
- ✓ También se tiene válvulas de paso, filtros solenoides, válvulas de expansión, válvulas che (un solo sentido de paso).
- ✓ Trituradora de hielo: Para su transporte en camiones que tienen cámaras de refrigeración.

La producción de hielo es por bloques y tiene una generación de 55 toneladas/día, esto no se puede modificar ya que la planta esta dimensionada para producir esta capacidad como máximo.

**Foto 1. Zona de fabricación del hielo en bloques**



**Fuente propia. Tomada de la misma fábrica.**

### 3.2 Costo de la generación de hielo

Observar los siguientes cuadros:

EGRESOS			
ITEM	Mensual	Cantidad	Anual
Consumo Eléctrico promedio (Mensual).	S/. 36,250.00	-	S/. 435,000.00
Mantenimiento (mensual).	S/. 5,500.00	12	S/. 66,000.00
Personal de campo (ayudantes)	S/. 1,200.00	2	S/. 28,800.00
Guardianía (solo para la noche)	S/. 850.00	1	S/. 10,200.00
Personal especialista (administrador/ingeniero)	S/. 5,000.00	1	S/. 60,000.00
Contador (mensual)	S/. 2,200.00	1	S/. 26,400.00
Teléfono fijo e internet (mensual).	S/. 120.00	1	S/. 1,440.00
Teléfono móvil (mensual).	S/. 90.00	3	S/. 3,240.00
<b>TOTAL</b>			<b>S/. 621,080.00</b>

Cuadro 1. Fuente: Empresa SERFIN SAC - egresos

INGRESOS				
ITEM (precio incluido I.G.V)	Diario	Mensual	Cantidad	Anual
Bloque del hielo en meses de Noviembre-Marzo (S/100.00)	S/. 5,000.00	S/. 145,000.00	5	S/. 725,000.00
Bloque del hielo en meses de Abril-Octubre (S/80.00)	S/. 3,200.00	S/. 92,800.00	7	S/. 649,600.00
<b>TOTAL</b>			<b>12</b>	<b>S/. 1,374,600.00</b>

Cuadro 2. Fuente propia - Ingresos

\*El mantenimiento preventivo se realiza una vez al mes, durante un día completo y consiste en limpieza de filtros y válvulas.

\*La fábrica tiene una capacidad de producción de cincuenta y cinco (55) toneladas de hielo/día.

\*En el periodo anual se vende igual toda la producción, adjunto periodo resumen de ventas de los últimos cinco años (anexo 3).



A continuación, determinaremos el precio de producción de mensual de hielo y calculará su ganancia a partir del precio de ventas que la empresa SEFRIN S.A.C tiene establecidos por época del año.

- ✓ Sabemos que el costo del hielo varía de acuerdo a temporada de pesca en la región Lambayeque (entre los meses de Noviembre - Marzo) y estos precios son de S/80.00 a S/100.00 la tonelada de hielo.

Fuera de temporada	Unitario	Mensual
Costo total (A+B)	S/. 67.80	S/. 78,644.07
I.G.V (18%)	S/. 12.20	S/. 14,155.93
Precio de venta (I.G.V)	S/. 80.00	S/. 92,800.00

Cuadro 3. Fuera de temporada

En temporada	Unitario	Mensual
Costo total (A+B)	S/. 84.75	S/. 122,881.36
I.G.V (18%)	S/. 15.25	S/. 22,118.64
Precio de venta (I.G.V)	S/. 100.00	S/. 145,000.00

Cuadro 4. En temporada

- ✓ Calcularemos el precio de producción y gastos generales y se detallan en los siguientes cuadros:

Costos de producción		Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total (S/.)
	Materia Prima	Agua				
		Sub total S/.				
	Insumos	Sal	410	Tonelada	S/. 10.50	S/. 4,305.00
		Refrigerante	350	Tonelada	S/. 45.82	S/. 16,037.00
		Sub total S/.				
	Mano de obra	Especialista	1	Persona	S/. 5,000.00	S/. 5,000.00
		Personal de campo	2	Persona	S/. 1,200.00	S/. 2,400.00
		Sub total S/.				
	Sub total S/.					S/. 7,400.00

Total costo de producción: Materia Prima + Insumos + Mano de obra	S/. 27,742.00
---	---------------

Cuadro 5. Costo de producción

Costos generales, administración y ventas		Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total (S/.)
	Gastos Generales	Energía Eléctrica	kW.h -MT3	Mensual	S/. 36,250.00	S/. 36,250.00
		Teléfonos	3	Mensual	S/. 90.00	S/. 270.00
		Contador	1	Mensual	S/. 2,200.00	S/. 2,200.00
		Administrador	1	Mensual	S/. 5,000.00	S/. 5,000.00
		Mantenimiento	1	Mensual	S/. 5,500.00	S/. 5,500.00
		Guardianía	1	Mensual	S/. 850.00	S/. 850.00
	Ventas	Internet	1	Mensual	S/. 120.00	S/. 120.00
		Publicidad	Tarjetas	Mensual	S/. 150.00	S/. 150.00
	Total de costo de servicios administrativos.					S/. 50,340.00

**Cuadro 6. Costos generales, administrativos y ventas**

- ✓ Determinaremos utilidad por parte de la empresa SEFRIN S.A.C, teniendo ya costo de producción y el costo de venta de la tonelada de hielo y por temporada.

	Fuera de temporada	En temporada
Costo total (A+B)	S/. 78,082.00	S/. 78,082.00
Utilidad	S/. 562.07	S/. 44,799.36
Costo total + ganancia	S/. 78,644.07	S/. 122,881.36

Cuadro 7. Utilidad

Tenemos dos utilidades una en temporada que es de S/. 44,799.36 y otra fuera de temporada que es de S/. 562.07.

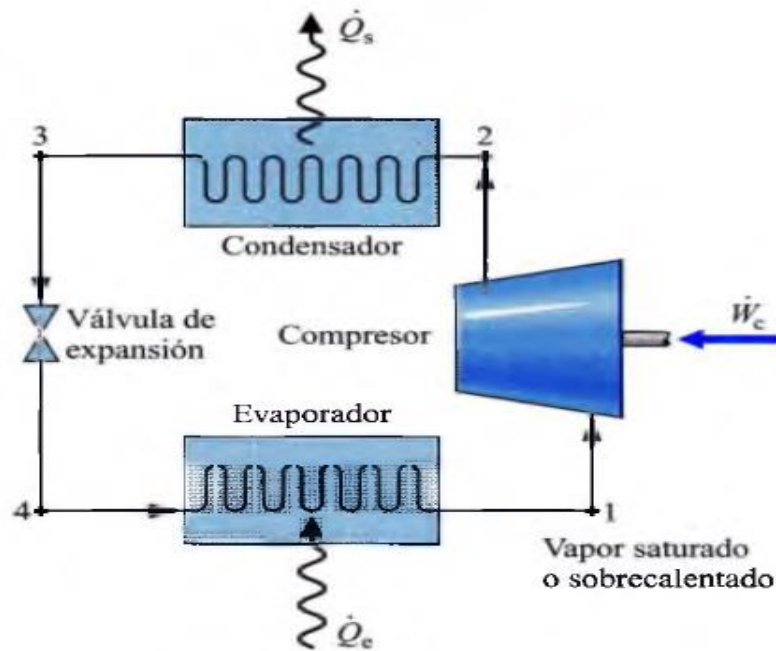
	Fuera de temporada	En temporada
Utilidad	S/. 562.07	S/. 44,799.36
Utilidad en %	0.72%	57.37%

Cuadro 8. Utilidad total

### 3.3.- Evaluación termoeconómico del sistema de fabricación de hielo

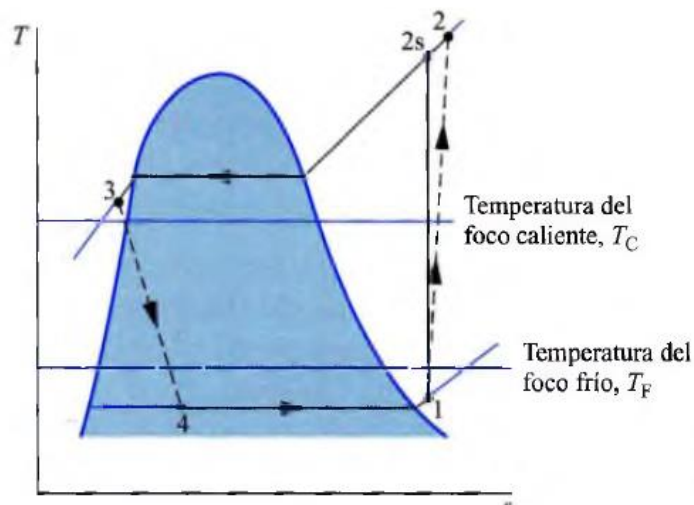
Se desarrolla el análisis termoeconómico al sistema de fabricación de hielo de la fábrica SEFRIN S.A.C ubicada en la localidad de Chiclayo. La descripción del proceso, así como los datos suministrados corresponden con las actuales condiciones de operación. A continuación, se presenta el diagrama simplificado del proceso con los parámetros de operación.

Figura 6. Componentes de un sistema de refrigeración



Fuente del libro Termodinámica Técnica. Moran Shapiro

Figura 7. Diagrama T-s del ciclo real de compresión de vapor



Fuente del libro Termodinámica Técnica. Moran Shapiro

Se determinan las condiciones iniciales en las que operan las maquinas principales de la fábrica SEFRIN S.A.C, las cuales son:

- **Compresor:** Marca Mycom 6M, modelo N6M (Anexo3).

Condiciones de operación son temperatura de 30°C a la salida del compresor, usando el 75% de la capacidad del compresor, esto nos da por tablas de fabricante que opera a 138kW y una presión de salida de 1,2 Mpa.



Figura 8. Fuente: Mycom-M-Recip

- **Condensador:** Capacidad de 3900kg y potencia de 745kW.

Condiciones de operación tiene tres ventiladores que enfrían el agua a una temperatura alrededor de 15°C para que el refrigerante reduzca su temperatura.



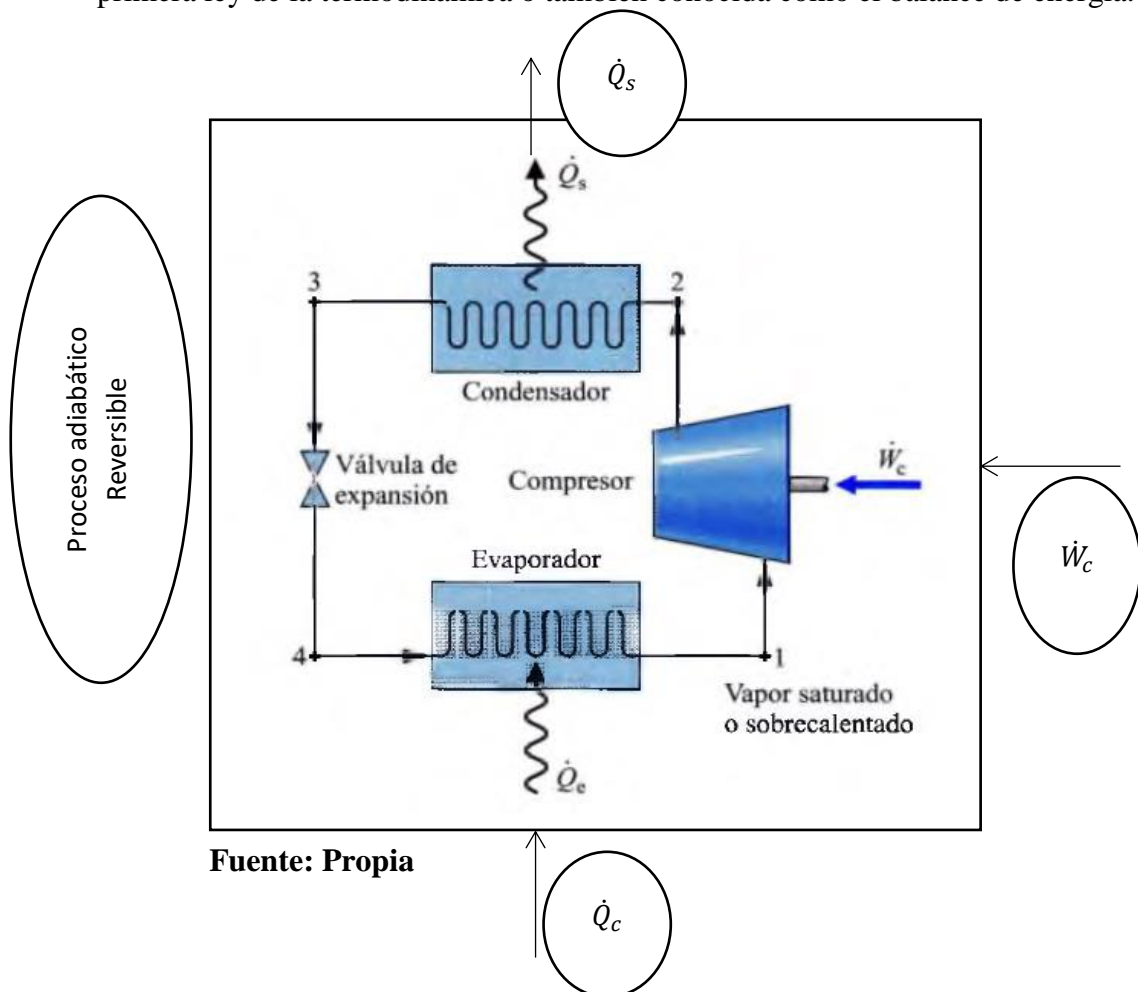
Figura 9. Fuente: Mecalux logismarket

- **Serpentín:** Posee 7 metros de largo, contiene 210 tubos (cada tubo de 6 metros) de cedula con un espesor de 3 mm de pared de acero al carbono.



Figura 10. Fuente [www.mindindustrial.es](http://www.mindindustrial.es)

- **Análisis termodinámico:** Teniendo los datos procederemos a la aplicación de la primera ley de la termodinámica o también conocida como el balance de energía.



Se aplica la primera Ley de la termodinámica, un balance de energía donde tendremos variación de energía interna, variación de energía cinética y potencial; estas dos últimas en el sistema de refrigeración por compresión de vapor se desprecian:

$$(\Delta U) + (EK_2 - EK_1) + (EP_2 - EP_1) = Q - W$$

Quedando la expresión anterior con las condiciones dadas de esta manera:

$$(\Delta U) = Q - W$$

De esta manera reemplazamos los calores y el trabajo producidos en el sistema y quedaría:

$$\Delta U + \dot{W}_C = \dot{Q}_C + \dot{Q}_S$$

Donde:

$\Delta U$  = Variación de energía interna específica [ $\dot{m}(u_2 - u_1)$ ].

$\dot{W}_C$  = Trabajo del compresor [ $\dot{m}(h_2 - h_1)$ ].

$\dot{Q}_C$  = Calor transferido desde el espacio refrigerado al refrigerante [ $\dot{m}(h_1 - h_4)$ ].

$\dot{Q}_S$  = Calor desde el refrigerante al medio que lo enfría [ $\dot{m}(h_2 - h_3)$ ]

Determinamos:

$$\dot{W}_C = [\dot{m}(h_2 - h_1)] = 209,85 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_C = [\dot{m}(h_1 - h_4)] = 2\,451,85 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_S = [\dot{m}(h_2 - h_3)] = 2\,606,99 \text{ kW}$$

Reemplazamos:

$$\Delta U + (-\dot{W}_C) = \dot{Q}_C + (-\dot{Q}_S)$$

$$\Delta U = \dot{W}_C + \dot{Q}_C + (-\dot{Q}_S)$$

$$\Delta U = 51,71 \text{ kW}$$

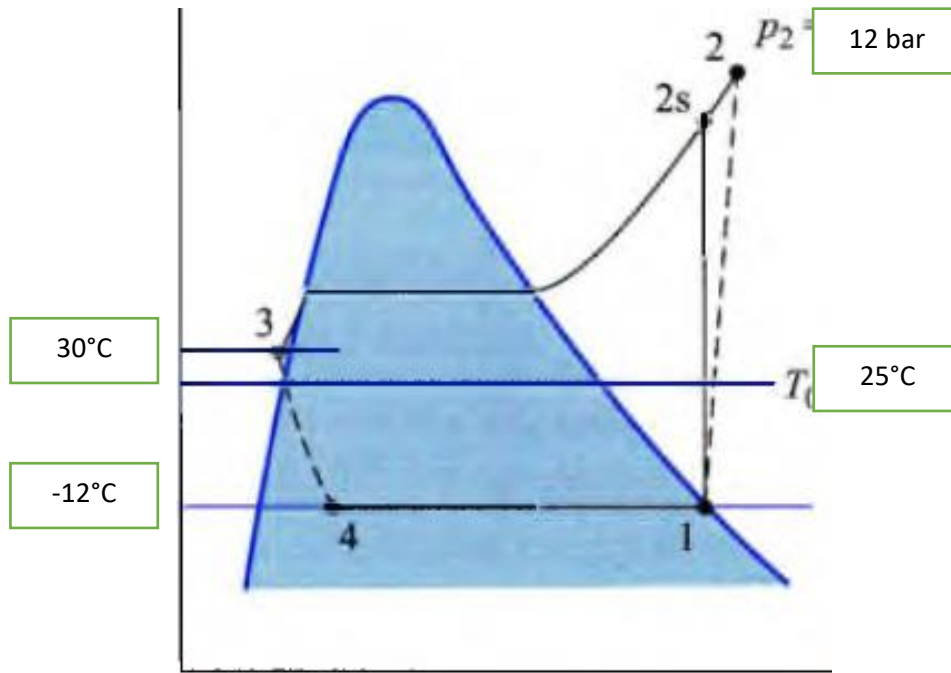


Figura 11. Fuente: Termodinámica Técnica. Moran Shapiro

Obtenemos las entalpías y entropías por estado:

**Estado 1:** -12°C – Vapor Saturado. Entrada del compresor.

Entalpia (kJ/kg)	Entropía (kJ/kg.°K)
1428,11	5,4948

**Estado 2s:** Presión de 12 bares. – Vapor Sobrecalentado. Entrada del condensador.

Entalpia (kJ/kg)	Entropía (kJ/Kg.°K)
1498,07	5,0643

**Estado 2:** Para obtener este estado se toma en cuenta la eficiencia del compresor ( $n_c$ ) y se determina:

$$n_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

Se despeja para determinar  $h_2$ , teniendo en cuenta que en la empresa el compresor funciona a un 75%:

$$h_2 = \frac{h_{2s} - h_1}{n_c} + h_1$$

$$h_2 = 1521,39 \text{ kJ/kg}$$

Para determinar la entropía se interpola en la tabla y se toma en cuenta  $h_2$ .

Entalpia (kJ/kg)	Entropía (kJ/Kg.°K)
1521,39	5,1365

**Estado 3:** 30°C – Liquido saturado. Salida del condensador.

Entalpia (kJ/kg)	Entropía (kJ/Kg.°K)
322,46	1,2319

**Estado 4:** 0°C – Vapor saturado. Salida de la válvula de estrangulamiento.

Entalpia (kJ/kg)	Entropía (kJ/Kg.°K)
322,46	1,2609

- **Fórmula de la calidad:** Por la calidad se determina la entropía en el estado 4.

$$x_4 = \frac{h_4 - h_{f4}}{h_{g4} - h_{f4}}$$

Dónde:

$$h_{g4} - h_{f4} = 1303,28 \text{ kJ/kg.}$$

$$h_{f4} = 124,83 \text{ kJ/kg.}$$

$$x_4 = 0,1516$$

- **Entropía en el estado 4:**

$$s_4 = s_{f4} + x_4(s_{g4} - s_{f4})$$

Dónde:

$$s_{g4} = 5,4948 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$s_{f4} = 0,5043 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$s_4 = 1,2609$$

- **Flujo másico:** Para obtener el flujo másico del refrigerante se tiene la siguiente formula:

$$\dot{W} = \dot{m} \times (h_2 - h_1)$$

Dónde:

$$\dot{W} = \text{potencia del compresor (138kW).}$$

$$\dot{m} = \text{flujo másico.}$$

$$\dot{m} = 0,83 \text{ kg/s}$$



Capacidad de refrigerante va ser:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

Dónde:

$$\dot{Q}_e = \text{capacidad de refrigerante.}$$

$$\dot{Q}_e = 0,83 \times 60 \times (1441,94 - 322,46) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{min}} \times \frac{1 \text{ tn}}{211 \frac{\text{kJ}}{\text{min}}}$$

$$\dot{Q}_e = 265,22 \text{ tn}$$

El COP ( $\beta$ -coeficiente de operación): Es una expresión de la eficiencia del ciclo y está definido como la relación del calor absorbido en el espacio refrigerado a la energía térmica equivalente a la energía suministrada por el compresor.

$$\beta = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)}$$

$$\beta = 11,84$$

- **Balance exergético:** Para determinar las exergías destruidas en el compresor como en el evaporador se dan por balances de exergías o utilizando la relación [7- (capítulo 7-Exergías)]:

$$\Delta E = \dot{E}_W + \dot{E}_Q - \dot{E}_D$$

Dónde:

$\dot{E}_W$  = Exergía de trabajo, en este caso será cero debido a que no hay un trabajo cinético y potencial es despreciable.

$\dot{E}_Q$  = Exergía química, en este caso es cero ya que no hay ninguna reacción química en el proceso.

$\dot{E}_D$  = Exergía destruida en el proceso.

$\Delta E$  = Variación de exergía.

### Exergía destruida

$$(\dot{A}_d)_c = T_0 \cdot \sigma_{vc}$$

Dónde:

$$\sigma_{vc} = \text{Entropía generada.}$$

### Para las exergía destruidas en el compresor es:

$$(\dot{A}_d)_c = \dot{m} \cdot T_0 \cdot (s_2 - s_1)$$

Dónde:

$$\dot{m} = \text{flujo másico.}$$

$$T_0 = \text{Temperatura ambiente (25°C).}$$

$$(s_2 - s_1) = \text{Balance de entropía en el compresor.}$$

$$(\dot{A}_d)_{\text{compresor}} = 0,83 \times 298 \times (s_2 - s_1)$$

$$(\dot{A}_d)_c = 82,63 \text{ kW}$$

### Para las exergía destruidas en el evaporador es:

$$(\dot{A}_d)_e = \dot{m} \cdot T_0 \cdot (s_4 - s_3)$$

Dónde:

$$\dot{m} = \text{flujo másico.}$$

$$T_0 = \text{Temperatura ambiente (25°C).}$$

$$(s_2 - s_1) = \text{Balance de entropía en el compresor.}$$

$$(\dot{A}_d)_{\text{evaporador}} = 0,83 \times 298 \times (s_4 - s_3)$$

$$(\dot{A}_d)_c = 7,18 \text{ kW}$$

### Para las exergía destruidas del condensador es:

Considérese el volumen de control que contiene al condensador. Con las consideraciones 1 y 3 el balance de entropía se reduce a:

$$0 = \dot{m}_{ref}(s_2 - s_3) + \dot{m}_{air}(s_5 - s_5) + \dot{\sigma}_{cond}$$

Para calcular  $\dot{\sigma}_{cond}$  se requieren los dos flujos másicos,  $\dot{m}_{ref}$  y  $\dot{m}_{air}$ , y la variación en la entropía específica del aire. Calcularemos éstos.

El flujo másico del aire se obtiene con el modelo de gas ideal; consideremos que el condensador tiene un flujo de  $46,70 \text{ m}^3/\text{kg}$ , entrando a  $25^\circ\text{C}$  (temperatura ambiente) y salen a  $40^\circ\text{C}$  aproximadamente.

$$\dot{m}_{air} = Flujo \times \frac{P_{atm}}{RT_{amb}}$$

$$\dot{m}_{air} = 46,70 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times \left( \frac{1 \text{ bar}}{\frac{8,314 \text{ kJ}}{28,97 \text{ kg} \cdot \text{K}} \times 298 \text{ K}} \right) \times \left( \frac{10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1 \text{ bar}} \right) \times \left( \frac{1 \text{ kJ}}{10^3 \text{ n} \cdot \text{m}} \right)$$

$$\dot{m}_{air} = 54,61 \text{ kg/s}$$

**El flujo másico del refrigerante:**

$$\dot{m}_{ref} = 0,83 \text{ kg/s}$$

**La variación de la entropía específica del aire será:**

$$(s_6 - s_5) = C_p \ln \frac{T_6}{T_5} - R \ln \frac{p_6}{p_5}$$

Dónde:

$T_6$  y  $T_5$  = Temperatura de entrada y salida del condensador  $40^\circ\text{C}$  y  $25^\circ\text{C}$  respectivamente.

$p_6$  y  $p_5$  = Presiones de entrada y salida, en este caso es la misma por lo que se reduce la expresión  $R \ln \left[ \frac{p_6}{p_5} \right]$  a cero.

$C_p$  = calor latente superior del aire como gas ideal.

$$(s_6 - s_5) = C_p \ln \frac{T_6}{T_5}$$

$$(s_6 - s_5) = 1,005 \times \ln \left( \frac{313}{298} \right)$$

$$(s_6 - s_5) = 0,049 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Finalmente despejamos  $\dot{\sigma}_{cond}$  en el balance de entropía y sustituimos valores

$$\dot{\sigma}_{cond} = -(\dot{m}_{ref}(s_2 - s_3) + \dot{m}_{air}(s_5 - s_6))$$

$$\dot{\sigma}_{cond} = \dot{m}_{ref}(s_3 - s_2) + \dot{m}_{air}(s_6 - s_5)$$

$$\dot{\sigma}_{cond} = [(0,83 \times (s_3 - s_2)) + (54,61 \times 0,049)]$$

$$\dot{\sigma}_{cond} = 0,0183 \text{ kJ/kg.K}$$

Entonces para determinar la exergía destruida por el condensador se multiplica por la temperatura del medio exterior del condensador:

$$(\dot{A}_d)_c = T_0 \cdot \dot{\sigma}_{cond}$$

$$(\dot{A}_d)_{condensador} = 298 \times 0,0183$$

$$(\dot{A}_d)_{condensador} = 5,45 \text{ kW}$$

Entonces las exergías destruidas o balance de exergía del sistema de producción de hielo son:

Elemento	Exergía (kW)
<b>Compresor:</b>	82,63
<b>Evaporador</b>	7,18
<b>Condensador</b>	5,45

Tabla 5. Resumen de elementos

- **Balance termoeconómico:** Sabemos que la empresa SEFRIN S.A.C tiene un pliego tarifario de MT3 y presentamos el cuadro a continuación.

Tabla 6: OSINERMIN

	Media tensión.	Unidad	Tarifa sin I.G.V
<b>Tarifa MT3:</b>	<b>Tarifa con doble medición de energía activa y contratación o medición de una potencia 2e1p</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	6.43
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	22.88
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	19.11
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	53.64
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	26.49
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	12.11

**Fuente: OSINERMIN**

Sabiendo que el único recurso energético que usa la empresa SEFRIN S.A.C es la energía eléctrica, evaluaremos los costos exergéticos con esta, teniendo en cuenta que la hora punta comienza de 18:00 hrs (6:00pm) hasta las 23:00 hrs (11:00 pm) una duración de cinco (5) horas y el resto se facturaría como hora fuera punta. Los equipos funcionan las veinticuatro (24) horas:

Elemento	Exergía (kW)	Costo Mensual sin I.G.V (s/.kW.h)		TOTAL
		Hora punta	Hora fuera punta	
<b>Compresor</b>	82,63	2 835,86	9 000,64	11 836,50
<b>Evaporador</b>	7,18	246,42	782,10	1 028,51
<b>Condensador</b>	5,45	187,04	593,65	780,70
<b>TOTAL SIN I.G.V</b>				13 645,71
<b>TOTAL INCLUIDO I.G.V</b>				16 101,94

Tabla 7. Fuente OSINERMIN

Se obtiene que por balance de exergías la fábrica tiene una pérdida de S/14 188,50 (catorce mil cientos ochenta y ocho 0/00 cincuenta nuevos soles)

Teniendo en cuenta el precio de las exergías encontradas en el sistema de fabricación y este es un costo que tiene que debe considerarse y para culminar el balance termoeconómico se debe sumar al costo de mantenimiento, aunque el mantenimiento que realiza la empresa SEFRINS.A.C solo consta de limpieza de filtros y esto le demanda que durante un día no hay producción y este se cuantifica como día de no ventas entonces se tiene:

Tabla 8. Resumen

ITEM	Precio mensual (S/)
Mantenimiento	5 500,00
TCE <sup>4</sup>	16 104,94
Total	21 604,94

**Fuente: Propia**

Se tiene un gasto mensual extra S/21 604,94.

### 3.4. Propuesta de mejora para el sistema de producción de hielo

Conociendo que el compresor que está utilizando la empresa SEFRIN S.A.C funciona a tan solo el 75% de su capacidad máxima se tiene un cuadro del compresor MYCOM N6M:

T° de trabajo	Revoluciones (rpm)	Potencia (kW)	Eficiencia
30°C	1450	138	75%

Para poder aprovechar la capacidad máxima del compresor reduciendo su consumo eléctrico se plantea construir un reductor de velocidad para el compresor el cuál pueda hacer uso del 100% de la capacidad del compresor, aumentar su eficiencia de trabajo reduciendo sus revoluciones:

T° de trabajo	Revoluciones (rpm)	Potencia (kW)	Eficiencia
30°C	1000	104	85%

Para ello tendremos que implementar tipo de control para el compresor entre ellos tenemos:

- ✓ Control de capacidad del compresor: El compresor en un sistema de refrigeración, es normalmente seleccionado para poder satisfacer la carga de enfriamiento más alta posible. Sin embargo, la carga de enfriamiento durante el funcionamiento normal, es generalmente más baja que la carga de diseño. Esto significa que siempre es necesario controlar la capacidad del compresor, de tal manera que coincida con la carga de calor real. Existen varias maneras comunes para controlar la capacidad del compresor:
  - Control por etapas: Esto se refiere a los cilindros de descarga en un compresor con varios cilindros, para abrir y cerrar los orificios de aspiración de un compresor de tornillo, o para iniciar y parar algunos compresores en un sistema multicompresor. Este sistema es simple y conveniente. Además, la eficacia disminuye muy poco durante la carga parcial. Es especialmente aplicable en sistemas con diversos compresores alternativos de varios cilindros.
  - Control válvula corrediza: El dispositivo más usado para controlar la capacidad de un compresor de tornillo es la válvula corrediza. La acción de la válvula corrediza operada por aceite permite separar el gas de succión

para evitar ser condensado. La válvula corrediza permite una reducción uniforme y continua de capacidad desde 100% hasta 10%, pero la eficiencia disminuye en cargas parciales.

- Control velocidad variable: Esta solución es aplicable a todos los tipos de compresores, y es eficiente. Un motor eléctrico de dos velocidades o un convertidor de frecuencia, pueden ser usados para variar la velocidad del compresor. El motor eléctrico de dos velocidades controla la capacidad del compresor funcionando en alta velocidad, cuando la carga de calor es alta (por ejemplo: Período de enfriamiento) y en baja velocidad cuando la carga de calor es baja (por ejemplo: Período de almacenamiento).

El convertidor de frecuencia puede variar la velocidad de rotación continuamente para satisfacer la demanda real. El convertidor de frecuencia observa límites de velocidad máxima y mínima., control de presión y temperatura, protección del motor del compresor además de los límites de corriente y torque.

Convertidores de frecuencia aseguran corriente de arranque bajo.

- Desvío de gas caliente: Esta solución es aplicable a compresores con capacidades fijas y más típicas en la refrigeración comercial. Para controlar la capacidad de refrigeración, parte del flujo del gas caliente en la línea de descarga es derivado dentro del circuito de baja presión. Esto ayuda a disminuir la capacidad de refrigeración de dos maneras: Disminuyendo el suministro del refrigerante líquido y liberando algún calor en el circuito de baja presión.
- ✓ Control de temperaturas de descarga con inyección de líquido: Los fabricantes del compresor generalmente recomiendan limitar la temperatura de descarga por debajo de un cierto valor, para prevenir el recalentamiento de vapores, prolongando su vida y previniendo la interrupción del aceite en altas temperaturas. Del diagrama p-h, se puede ver que la temperatura de descarga puede ser alta cuando:
- El compresor funciona con alta diferencial de presión.
  - El compresor recibe el vapor de succión sumamente recalentado.
  - El compresor funciona con control de capacidad por derivación de gas caliente.

Existen varias maneras de reducir la temperatura de descarga. Una forma es instalar las cabezas refrigeradas por agua en los compresores alternativos; otro método es la inyección de líquido, por la cual, el refrigerante líquido de salida del condensador o depósito, es inyectado en la línea de succión, enfriador intermedio o lado del puerto del compresor de tornillo.

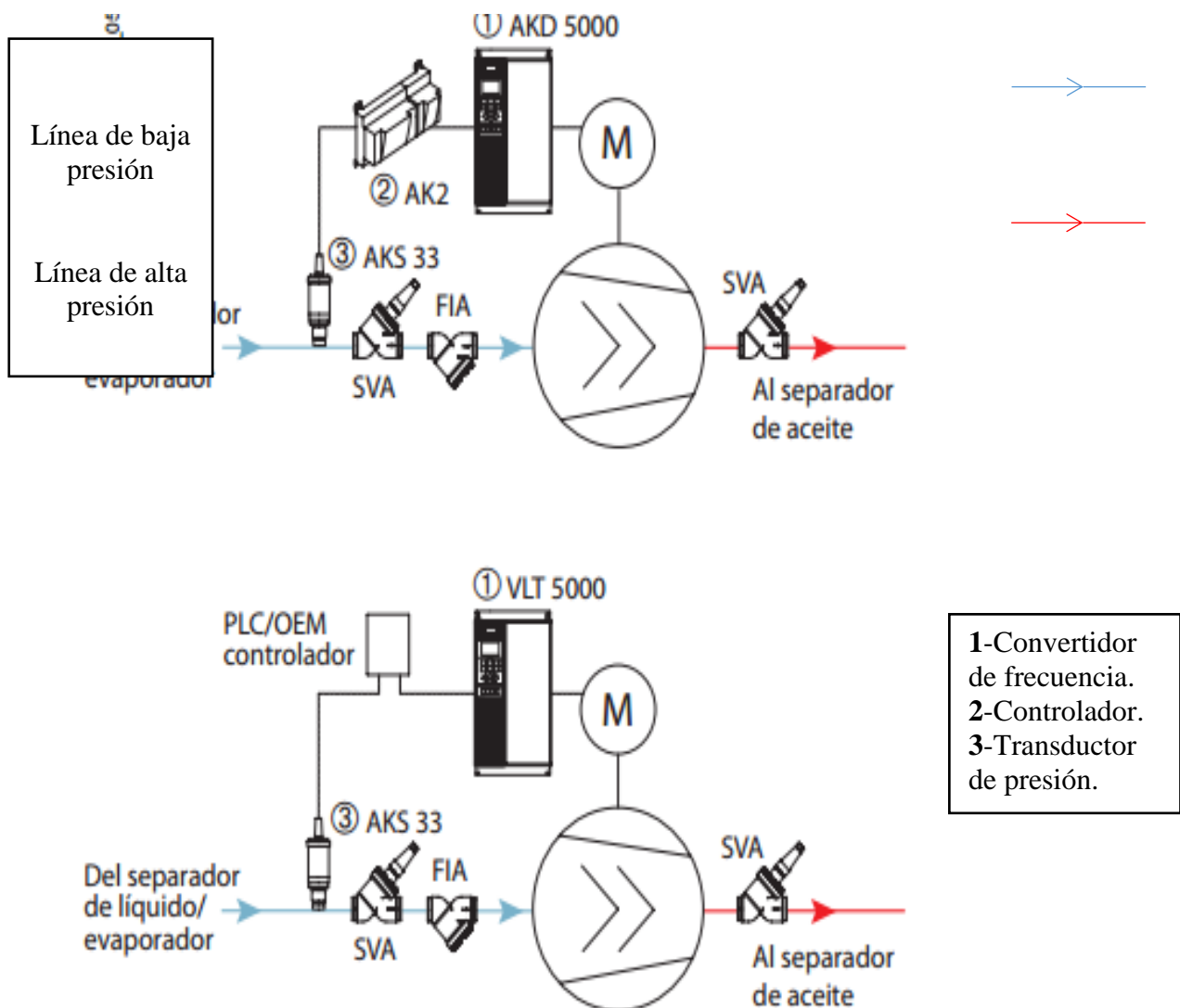
- ✓ Control de presión del cárter: Durante el arranque o después del descongelamiento, la presión de succión tiene que ser controlada, de otra manera puede ser demasiado alta, y el motor del compresor será sobrecargado. El motor eléctrico del compresor puede dañarse por esta sobrecarga. Existen dos formas de superar este problema:
  - Arranque el compresor en carga parcial. Los métodos de control de capacidad pueden usarse para iniciar el compresor en carga parcial; por ejemplo.: descarga parcial de los pistones para los compresores alternativos multipistón, o derivar algún gas de succión para los compresores de tornillo con válvulas corredizas, etc.
  - Controle la presión del cárter para compresores alternativos. Instalando una válvula de regulación de contrapresión controlada en la línea de succión, que no abrirá hasta que la presión en la línea de succión sea inferior al valor del sistema; esta presión de succión puede mantenerse bajo un cierto nivel.
- ✓ Control de flujo invertido: El flujo inverso y la condensación del refrigerante desde el condensador al separador de aceite y el compresor deberían ser evitados en cualquier momento. Para los compresores de pistón, el flujo inverso puede resultar en golpe de ariete. Para compresores de tornillo, el flujo inverso puede causar rotación invertida y daño para los cojinetes del compresor. Además, la migración de refrigeración en el separador de aceite y más en el interior del compresor el congelamiento debería ser evitada. Para evitar este flujo inverso, es necesario instalar la válvula de retención en la salida del separador de aceite.



Teniendo ya los tipos de controlador del compresor se determinó que el control de capacidad variando la velocidad del compresor es la mejor opción ya que cuenta con las siguientes ventajas:

- Ahorro de energía
- Mejor control y calidad del producto.
- Reducción de nivel de ruido.
- Vida más larga para el compresor.
- Instalación más sencilla.
- Un sistema de control completo que es fácil de utilizar.




Figura 12. Control Automático para sistemas de refrigeración industriales



Fuente: Control Automático para sistemas de refrigeración industriales. "Danfoss"

El control de capacidad variando la capacidad del compresor consta de:

Tabla 9. Elementos del sistema

Convertidor de frecuencia	Controlador	Transductor de presión
VLT-5000	AK-SC 255	AKS 33
		
Precio		
S/. 5 700.00	S/. 6 800.00	S/. 1 000.00

Los precios no incluyen I.G.V ni el envío que tiene un precio del 5% del costo total de los productos y también dura quince días hábiles desde que se realiza el pedido a la empresa “Danfoss” – (empresa de Dinamarca) ya sea por correo [danfoss@danfoss.com](mailto:danfoss@danfoss.com) desde su página web que es [www.danfoss.com](http://www.danfoss.com) o teléfono +45 7488 2222.

Teniendo en cuenta lo anterior mencionado se procede a determinar la cantidad de la inversión a realizar con la adquisición de los productos y su instalación.

Tabla 10. Precios

PRODUCTOS	PRECIOS (S/)
VLT-5000	5 700.00
AK SC255	6 800.00
AKS33	1 000.00
Sub Total	13 500.00
Sub Total + envío sin I.G.V	14 175.00
Total incluido I.G.V	16 726.50

**Fuente: Propia**

Para la programación e instalación de los dispositivos como el controlador AK2-SC255, el VLT-5000 y el AK-33; el personal capacitado se encuentra en la ciudad de Lima, el cual tienen un presupuesto de S/.5 200.00 con puesta en servicio.

Teniendo el precio total de los equipos y del personal especializado que programará, instalará y pondrá en funcionamiento el control de capacidad variando la capacidad del compresor se tiene una inversión inicial de S/ 21 926.50

Realizaremos el balance económico implementando el control de capacidad variando la capacidad del compresor y la evaluación de la rentabilidad del proyecto con el TIR/VAN (anexo 4).

Tabla 11. VAN/TIR

<b>INVERSION</b>	<b>S/ 21 926.50</b>	<b>VAN</b>	<b>24,469</b>	<b>Miles S/.</b>
<b>TASA DE DESCUENTO</b>	<b>12%</b>	<b>TIR</b>	<b>17.87</b>	<b>%</b>
<b>VAN COSTOS</b>	<b>S/759 225.05</b>	<b>PAY BACK</b>	<b>9,91</b>	<b>Meses</b>
<b>VAN BENEFICIOS</b>	<b>S/783 694.02</b>	<b>B/C</b>	<b>1.03</b>	

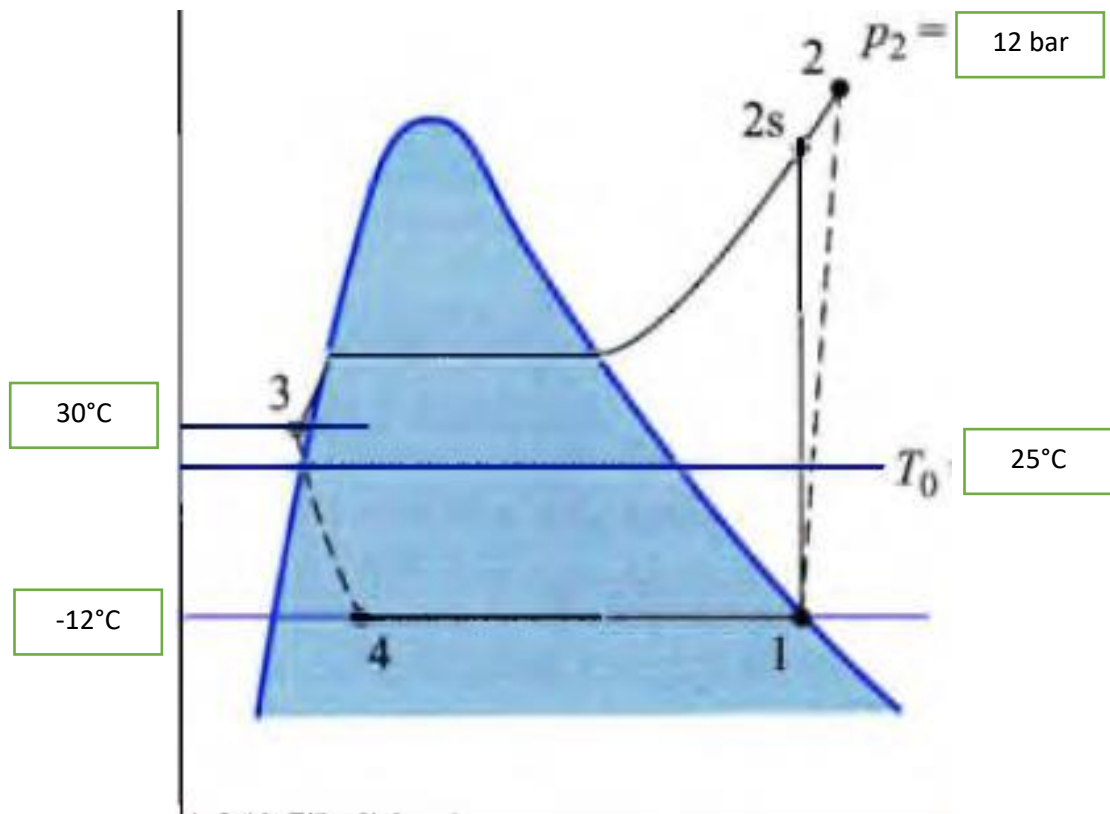
La implementación del controlador de capacidad variando la capacidad del compresor factible debido a que el VAN es positivo y tenemos un TIR mayor al 10%.

### 3.5. Análisis termoeconómico comparativo

Se tomarán las mismas condiciones de operación e iniciales del primer caso, ya que solo se reemplazará la eficiencia del compresor.

**3.5.1 Análisis termodinámico:** Teniendo los datos procederemos a la aplicación de la primera ley de la termodinámica o también conocida como el balance de energía.

Figura 13.- Diagrama t-s



**Fuente: Termodinámica Técnica. Moran Shapiro**

Obtenemos las entalpías y entropías por estado:

**Estado 1:** -12°C – Vapor Saturado. Entrada del compresor.

Entalpia (kJ/kg)	Entropía (kJ/kg.°K)
1428,11	5,4948

**Estado 2s:** Presión de 12 bares. – Vapor Sobrecalentado. Entrada del condensador.

Entalpia (kJ/kg)	Entropía (kJ/Kg.°K)
1498,07	5,0643

**Estado 2:** Para obtener este estado se toma en cuenta la eficiencia del compresor ( $n_c$ ) y se determina:

$$n_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

Se despeja para determinar  $h_2$ , teniendo en cuenta que en la empresa el compresor funciona a un 75%:

$$h_2 = \frac{h_{2s} - h_1}{n_c} + h_1$$

$$h_2 = 1521,39 \text{ kJ/kg}$$

Para determinar la entropía se interpola en la tabla y se toma en cuenta  $h_2$ .

Entalpia (kJ/kg)	Entropía (kJ/Kg.°K)
1521,39	5,1365

**Estado 3:** 30°C – Liquido saturado. Salida del condensador.

Entalpia (kJ/kg)	Entropía (kJ/Kg.°K)
322,46	1,2319

**Estado 4:** 0°C – Vapor saturado. Salida de la válvula de estrangulamiento.

Entalpia (kJ/kg)	Entropía (kJ/Kg.°K)
322,46	1,2609

➤ **Fórmula de la calidad:** Por la calidad se determina la entropía en el estado 4.

$$x_4 = \frac{h_4 - h_{f4}}{h_{g4} - h_{f4}}$$

Dónde:

$$h_{g4} - h_{f4} = 1303,28 \text{ kJ/kg.}$$

$$h_{f4} = 124,83 \text{ kJ/kg.}$$

$$x_4 = 0,1516$$

➤ **Entropía en el estado 4:**

$$s_4 = s_{f4} + x_4(s_{g4} - s_{f4})$$

Dónde:

$$s_{g4} = 5,4948 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$s_{f4} = 0,5043 \frac{kJ}{kg} \cdot ^\circ K$$

$$s_4 = 1,2609$$

- **Flujo másico:** Para obtener el flujo másico del refrigerante se tiene la siguiente formula:

$$\dot{W} = \dot{m} \times (h_2 - h_1)$$

Dónde:

$\dot{W}$  = potencia del compresor (104kW).

$\dot{m}$  = flujo másico.

$$\dot{m} = 0,78 \text{ kg/s}$$

Capacidad de refrigerante va ser:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

Dónde:

$\dot{Q}_e$  = capacidad de refrigerante.

$$\dot{Q}_e = 0,78 \times 60 \times (1441,94 - 322,46) \frac{kJ}{kg \cdot min} \times \frac{1tn}{211 \frac{kJ}{min}}$$

$$\dot{Q}_e = 227,24tn$$

El COP ( $\beta$ -coeficiente de operación): Es una expresión de la eficiencia del ciclo y está definido como la relación del calor absorbido en el espacio refrigerado a la energía térmica equivalente a la energía suministrada por el compresor.

$$\beta = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)}$$

$$\beta = 11,84$$

- **Balance exergético:** Para determinar las exergías destruidas en el compresor como en el evaporador se dan por balances de exergías o utilizando la relación [7- (capítulo 7-Exergias)]:

$$\Delta E = \dot{E}_W + \dot{E}_Q - \dot{E}_D$$

Dónde:

$\dot{E}_W$  = Exergía de trabajo, en este caso será cero debido a que no hay un trabajo cinético y potencial es despreciable.

$\dot{E}_Q$  = Exergía química, en este caso es cero ya que no hay ninguna reacción química en el proceso.

$\dot{E}_D$  = Exergía destruida en el proceso.

$\Delta E$  = Variación de exergía.

### **Exergía destruida**

$$(\dot{A}_d)_c = T_0 \cdot \sigma_{vc}$$

Dónde:

$\sigma_{vc}$  = Entropía generada.

### **Para las exergía destruidas en el compresor es:**

$$(\dot{A}_d)_c = \dot{m} \cdot T_0 \cdot (s_2 - s_1)$$

Dónde:

$\dot{m}$  = flujo másico.

$T_0$  = Temperatura ambiente (25°C).

$(s_2 - s_1)$  = Balance de entropía en el compresor.

$$(\dot{A}_d)_{\text{compresor}} = 0,78 \times 298 \times (s_2 - s_1)$$

$$(\dot{A}_d)_c = 77,65 \text{ kW}$$

### **Para las exergía destruidas en el evaporador es:**

$$(\dot{A}_d)_e = \dot{m} \cdot T_0 \cdot (s_4 - s_3)$$

Dónde:

$\dot{m}$  = flujo másico.

$T_0$  = Temperatura ambiente (25°C).

$(s_2 - s_1)$  = Balance de entropía en el compresor.

$$(\dot{A}_d)_{\text{evaporador}} = 0.78 \times 298 \times (s_4 - s_3)$$

$$(\dot{A}_d)_c = 6,75 \text{ kW}$$

**Para las exergía destruidas del condensador es:**

Considérese el volumen de control que contiene al condensador. Con las consideraciones 1 y 3 el balance de entropía se reduce a:

$$0 = \dot{m}_{ref}(s_2 - s_3) + \dot{m}_{air}(s_5 - s_6) + \dot{\sigma}_{cond}$$

Para calcular  $\dot{\sigma}_{cond}$  se requieren los dos flujos másicos,  $\dot{m}_{ref}$  y  $\dot{m}_{air}$ , y la variación en la entropía específica del aire. Calcularemos éstos.

El flujo másico del aire se obtiene con el modelo de gas ideal; consideremos que el condensador tiene un flujo de  $46,70 \text{ m}^3/\text{kg}$ , entrando a  $25^\circ\text{C}$  (temperatura ambiente) y salen a  $40^\circ\text{C}$  aproximadamente.

$$\dot{m}_{air} = \text{Flujo} \times \frac{P_{atm}}{RT_{amb}}$$

$$\dot{m}_{air} = 46,70 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times \left( \frac{1 \text{ bar}}{\frac{8,314 \text{ kJ}}{28,97 \text{ kg} \cdot \text{K}} \times 298 \text{ K}} \right) \times \left( \frac{10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{1 \text{ bar}} \right) \times \left( \frac{1 \text{ kJ}}{10^3 \text{ n} \cdot \text{m}} \right)$$

$$\dot{m}_{air} = 54,61 \text{ kg/s}$$

**El flujo másico del refrigerante:**

$$\dot{m}_{ref} = 0,78 \text{ kg/s}$$

**La variación de la entropía específica del aire será:**

$$(s_6 - s_5) = C_p \ln \frac{T_6}{T_5} - R \ln \frac{p_6}{p_5}$$

Dónde:

$T_6$  y  $T_5$  = Temperatura de entrada y salida del condensador  $40^\circ\text{C}$  y  $25^\circ\text{C}$  respectivamente.

$p_6$  y  $p_5$  = Presiones de entrada y salida, en este caso es la misma por lo que se reduce la expresión  $R \ln \left[ \frac{p_6}{p_5} \right]$  a cero.

$C_p$  = calor latente superior del aire como gas ideal.

$$(s_6 - s_5) = C_p \ln \frac{T_6}{T_5}$$

$$(s_6 - s_5) = 1,005 \times \ln \left( \frac{313}{298} \right)$$

$$(s_6 - s_5) = 0,049 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$



Finalmente despejamos  $\dot{\sigma}_{cond}$  en el balance de entropía y sustituimos valores

$$\dot{\sigma}_{cond} = -(\dot{m}_{ref}(s_2 - s_3) + \dot{m}_{air}(s_5 - s_6))$$

$$\dot{\sigma}_{cond} = \dot{m}_{ref}(s_3 - s_2) + \dot{m}_{air}(s_6 - s_5)$$

$$\dot{\sigma}_{cond} = [(0,78 \times (s_3 - s_2)) + (54,61 \times 0,049)]$$

$$\dot{\sigma}_{cond} = 0,0171 \text{ kJ/kg.K}$$

Entonces para determinar la exergía destruida por el condensador se multiplica por la temperatura del medio exterior del condensador:

$$(\dot{A}_d)_c = T_0 \cdot \dot{\sigma}_{cond}$$

$$(\dot{A}_d)_{condensador} = 298 \times 0,0183$$

$$(\dot{A}_d)_{condensador} = 5,09 \text{ kW}$$

Entonces las exergías destruidas o balance de exergía del sistema de producción de hielo son:

Elemento	Exergía (kW)
<b>Compresor:</b>	77,65
<b>Evaporador</b>	6,75
<b>Condensador</b>	5,09

- **Balance termoeconómico:** Sabemos que la empresa SEFRIN S.A.C tiene un pliego tarifario de MT3 y presentamos el cuadro a continuación.

Tabla 12: OSINERMIN

	Media tensión.	Unidad	Tarifa sin I.G.V
<b>Tarifa MT3:</b>	<b>Tarifa con doble medición de energía activa y contratación o medición de una potencia 2e1p</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	6.43
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	22.88
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	19.11
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	53.64
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	26.49
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	12.11

**Fuente: OSINERMING**

Sabiendo que el único recurso energético que usa la empresa SEFRIN S.A.C es la energía eléctrica, evaluaremos los costos exergéticos con esta, teniendo en cuenta que la hora punta comienza de 18:00 hrs (6:00pm) hasta las 23:00 hrs

(11:00 pm) una duración de cinco (5) horas y el resto se facturaría como hora fuera punta. Los equipos funcionan las veinticuatro (24) horas:

Figura 14. Calculo de elemento

Elemento	Exergía (kW)	Costo Mensual sin I.G.V (s/.kW.h)		TOTAL
		Hora punta	Hora fuera punta	
<b>Compresor</b>	77,75	2 664,95	8 458,18	11 123,13
<b>Evaporador</b>	6,75	231,66	735,26	966,92
<b>Condensador</b>	5,09	174,69	554,44	729,13
<b>TOTAL SIN I.G.V</b>				12 819,17
<b>TOTAL INCLUIDO I.G.V</b>				15 126,63

Por balance de exergías Se obtiene que la fábrica tiene una pérdida mensual de S/1 406,34 (mil cuatrocientos seis 0/00 con treinta y cuatro nuevos soles).

ITEM	Precio mensual (S/)
Mantenimiento	5 500,00
TCE <sup>4</sup>	15 126,63
Total	20 626,63

#### La comparación del balance termoeconómico inicial y final.

En el balance termoeconómico inicial se tiene una pérdida de S/21 604,94 y con el cambio propuesta se tiene una pérdida de S/. 20 626,63; obteniendo una disminución de gastos por perdida de exergía y mantenimiento mensual de S/. 978.31 conllevando a que la empresa SEFRIN S.A.C tenga ahorro y su flujo de caja durante los meses fuera de temporada incrementa.

## CONCLUSIONES

- Se identificó el proceso de la elaboración de hielo en la fábrica SEFRN S.A.C, en la cual su proceso de fabricación de hielo en bloques es por compresión de vapor (gas refrigerante) en la cual utilizan el amoniaco (R717) y utilizan agua de un pozo tubular que tienen dentro de la fábrica.
- Se realizó el cálculo del costo de producción de hielo, teniendo en cuenta los gastos que nos indicó el encargado de la parte administrativa.
- Se realizó el análisis termoeconómico inicial del proceso de fabricación de hielo teniendo en cuenta las formulas termodinámicas, el balance de exergía y ultimando el balance termoeconómico.
- La propuesta de una alternativa de solución en la cual no afecte el proceso ni la modificación solo se incrementa un sistema de control de capacidad del compresor variando la velocidad y solo utilizando la capacidad necesaria del compresor que requiere el sistema, así se tendrá menos exergía destruida en el compresor como mejor uso de la energía eléctrica con respecto a la carga del compresor.
- Se realizó el análisis termoeconómico con la alternativa de solución que se recomendó y podemos ver que habría una mejora debido a que con la alternativa propuesta la exergía destruidas disminuyen y por ende en el balance termodinámico final los costos de pérdidas disminuyen.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomendaría que la alternativa propuesta se ejecute durante la época que la fábrica se encuentre fuera de temporada para que los costos de pérdida sean menores y su plazo de recuperación sea menor, como se demuestra en el cálculo del VAN y TIR que se le realizó que nos arroja una recuperación de ocho (8) meses.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Valero, A: Lozano, M.A y Muñoz, M. “A General theory of Eergy saving: Part I, On the Exergetic Cost, Part II, On the Thermoeconomic Cost, Part III, Energy Saving and thermoeconomics”. Computer Aided Engineering of Energy Systems, Vol 3-Second law Analysis and Modelling. Pag 1-22(Gaggioli, R.A...Ld.). ASME, Nueva York (1986).
- [2] Miguel Ángel Lozano Serrano (Abril 1997) APLICACIONES TERMOECONÓMICAS DEL MÉTODO EXERGÉTICO. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
- [3] Jorge René Silva Larrotta. “La termoeconomía como alternativa para mejorar la competitividad industrial”, Magister en Administración de Empresas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Económica, Maestría en Administración, Bogotá, Colombia, 2015.
- [4] Misra D, Sahoo P, Gupta A, (2001) Application of the exergetic cost theory to the LiBr/H<sub>2</sub>O vapour absorption system. Energy. Elsevier. Silchar
- [5] Kang M. Lingen M. Fengrui S. (2009) Profit rate performance optimization for a generalized irreversible combined refrigeration cycle. Sadhana. Wuhan
- [6] Morosuk T. Tsatsaronis G. (2009) Advanced exergetic evaluation of refrigeration machines using different working fluids. Energy. Elsevier. Berlin
- Liliana Isabel Castellón Cedrón, Natalí Madriaga Gómez. “Diseño de una estrategia de uso racional y eficiente de energía en una planta productora de harina”, Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Química Cartagena de Indias D.T Y C 2012
- Lozano, M.A. y Valero, A. “Methodology for Calculating Exergy in Chemical Processes”. Thermodynamic Analisis of Chemically Reactive Systems.
- Lozano, M.A. y Valero, A. “Application of the Exergetic Costs Theory to a Steam Boiler in a Thermal Generating Station”.
- Fábrega F. D’Angelo J. Rossi J. (2009) Exergetic analysis of the refrigeration system in ethylene and propylene production process. Science Direct. Elsevier. Campinas
- [7] Fundamentos de termodinámica técnica. Edición 2. Michael J. Morán y Howard N. Shapiro.

## ANEXOS

### Anexo 1.

**Tabla de propiedades físicas del amoníaco (R717)**

Propiedad Física	Unidad	
Formula molecular.		$NH_3$
Peso molecular.	$\frac{kg}{kmol}$	17,031
Punto de ebullición a 1 atmosfera.	°C	-33,43
Punto de congelación a 1 atmosfera.	°C	-77,74
Calor latente de vapor (33,2°C y 1,012 atm).	$\frac{BTU}{lb}$	588,2
Gravedad específica del vapor a 0°C y 1 atm.	$\frac{kg}{m^3}$	0,5970
Gravedad específica del líquido a 33°C y 1,032 atm.	$\frac{kg}{m^3}$	06815
Volumen específico del vapor a 0°C y 1atm.	$\frac{m^3}{kg}$	1,297
Rango de inflamación en el aire.	Vol.	16-25 %
Temperatura de autoignición.	°C	651
Olor		Olor penetrante.
Color		Vapores blancos.
Inflamabilidad		No.

## Anexo 2



**Foto 2. Área de elaboración de los bloques de hielo.**

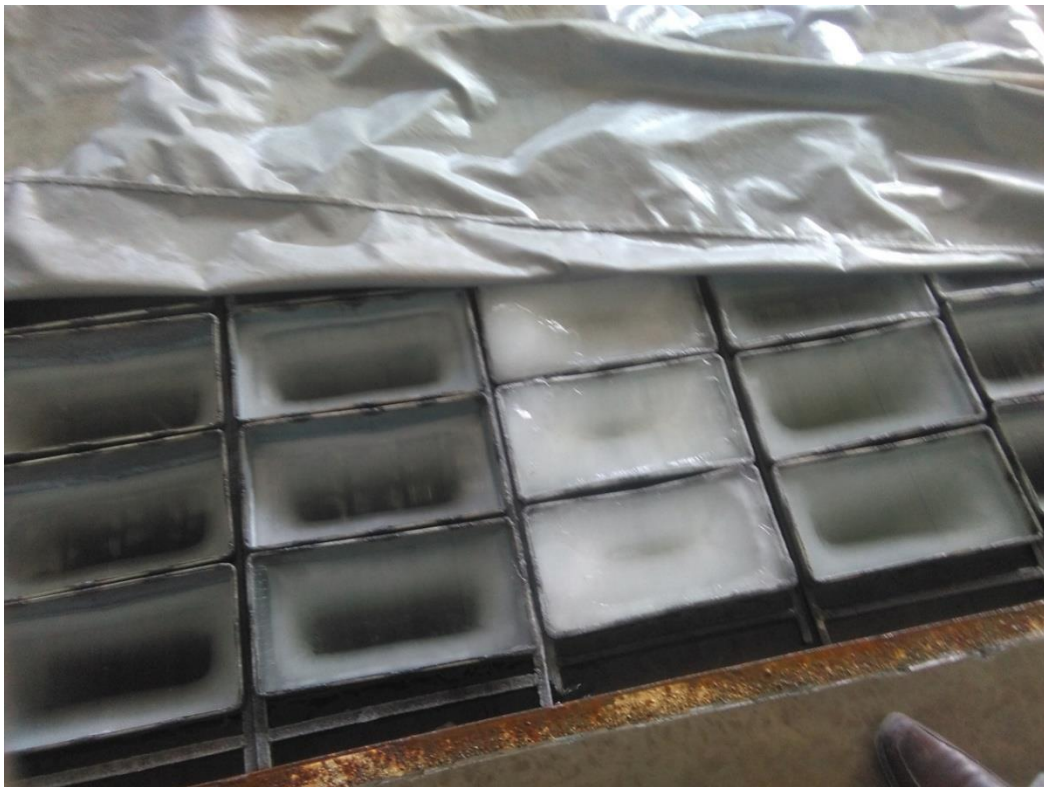


**Foto 3. Agitadores de la salmuera**



**Foto 4. Compresor y válvula de escape.**





**Foto 5 Bloques de hielo.**

### Anexo 3

Mes	Producción				
	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Enero</b>	1560	1500	1560	1440	1500
<b>Febrero</b>	1560	1500	1560	1440	1500
<b>Marzo</b>	1560	1500	1560	1440	1500
<b>Abril</b>	1140	1200	1140	1260	1260
<b>Mayo</b>	1170	1200	1230	1200	1200
<b>Junio</b>	1200	1140	1140	1260	1260
<b>Julio</b>	1140	1140	1260	1200	1260
<b>Agosto</b>	1140	1140	1200	1260	1260
<b>Septiembre</b>	1200	1260	1140	1260	1140
<b>Octubre</b>	1200	1260	1140	1260	1140
<b>Noviembre</b>	1560	1500	1560	1440	1500
<b>Diciembre</b>	1560	1500	1560	1440	1500
<b>Total</b>	15990	15840	16050	15900	16020

**Tabla 13: Fuente SEFRIN S.A.C**

#### Anexo 4: VAN/TIR

Mes		COSTOS			Costo	INGRESOS	Beneficio	FLUJO ECONOMICO			Pay Back	
	INVERSION	ENERGIA ALTERNAS	PRODUCCION Y MANTENIMIENTO	PERDIDAS POR EXERGIAS	Total	VENTA DE TONELAS DE HIELO MENSUAL	Total					
0	21 956.50	0			21 956.50		0.00	-21,956.50	0	-21,926.50		-49.87
1	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	92,800.00	92,800.00	-5,908.63	1	-27,202.06		-69.30
2	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	92,800.00	92,800.00	-5,908.63	2	-31,912.39		-91.06
3	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	92,800.00	92,800.00	-5,908.63	3	-36,118.03		-115.42
4	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	92,800.00	92,800.00	-5,908.63	4	-39,873.07		-142.71
5	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	92,800.00	92,800.00	-5,908.63	5	-43,225.79		-173.28
6	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	92,800.00	92,800.00	-5,908.63	6	-46,219.28		-207.51
7	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	92,800.00	92,800.00	-5,908.63	7	-48,892.05		31.38
8	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	145,000.00	145,000.00	46,291.37	8	-30,195.74	8	21.71
9	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	145,000.00	145,000.00	46,291.37	9	-13,502.61		10.87
10	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	145,000.00	145,000.00	46,291.37	10	1,401.97		-1.26
11	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	145,000.00	145,000.00	46,291.37	11	14,709.64		-14.86
12	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	145,000.00	145,000.00	46,291.37	12	26,591.48		235.65
13	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	92,800.00	92,800.00	-5,908.63	13	25,237.37		250.49
14	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	92,800.00	92,800.00	-5,908.63	14	24,028.35		267.11
15	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	92,800.00	92,800.00	-5,908.63	15	22,948.86		285.72
16	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	92,800.00	92,800.00	-5,908.63	16	21,985.04		306.57
17	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	92,800.00	92,800.00	-5,908.63	17	21,124.48		329.92
18	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	92,800.00	92,800.00	-5,908.63	18	20,356.13		356.07
19	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	98,708.63	92,800.00	92,800.00	-5,908.63	19	19,670.09		-49.19
20	0.00	0.00	78,082.00	20,626.63	92,270.50	145,000.00	145,000.00	46,291.37	20	24,468.97		12.00

## Anexo 5.

**Tabla de propiedades físicas del R134a**

Propiedad física	Unidad	
Formula química.		CH <sub>2</sub> F – CF <sub>3</sub>
Nombre químico.		1,1,1,2-tetrafluoroetano
Peso molecular.	$\frac{kg}{kmol}$	102
Punto de ebullición.	°C	-26,2
Punto de congelación.	°C	-101
Temperatura crítica.	°C	101,1
Presión crítica.	Bar	40,67
Densidad crítica.	$\frac{kg}{l}$	0,51
Densidad del líquido (25°C).	$\frac{kg}{l}$	1,206
Densidad del líquido (0°C).	$\frac{kg}{l}$	1,293
Densidad del vapor (25°C).	$\frac{kg}{m^3}$	32,25
Densidad del vapor (0°C).	$\frac{kg}{m^3}$	14,41
Presión de vapor (25°C)	Bar	6,657
Presión de vapor (0°C)	Bar	216,4
Viscosidad del líquido (25°C).	cP	0,202
Presión superficial (25°C).	$\frac{mN}{m}$	7,9
Solubilidad del R134a en agua.	%	0,15
Capacidad volumétrica refrigerante (-25°C).	$\frac{kg}{m^3}$	1192,11
Inflamabilidad		No

## Anexo 6.

### Tablas de propiedades del R717 (amoníaco).

Tabla de temperatura del amoníaco. Estado de saturación líquido/vapor

Temp. [°C]	Pres. [kPa]	Volumen específico [m³/kg]			Entalpía específica [kJ / kg]			Entropía específica [kJ / kg K]			[°C]
		LS	VS		LS	VS		LS	VS		
T	p	v <sub>f</sub>	v <sub>lg</sub>	v <sub>g</sub>	h <sub>f</sub>	h <sub>lg</sub>	h <sub>g</sub>	s <sub>f</sub>	s <sub>lg</sub>	s <sub>g</sub>	T
-50	40,88	0,001 424	2,6239	2,6254	-44,3	1416,7	1372,4	-0,1942	6,3502	6,1561	-50
-48	45,96	0,001 429	2,3518	2,3533	-35,5	1411,3	1375,8	-0,1547	6,2696	6,1149	-48
-46	51,55	0,001 434	2,1126	2,1140	-26,6	1405,8	1379,2	-0,1156	6,1902	6,0746	-46
-44	57,69	0,001 439	1,9018	1,9032	-17,8	1400,3	1382,5	-0,0768	6,1120	6,0352	-44
-42	64,42	0,001 444	1,7155	1,7170	- 8,9	1394,7	1385,8	-0,0382	6,0349	5,9967	-42
-40	71,77	0,001 449	1,5506	1,5521	0,0	1389,0	1389,0	0,0	5,9589	5,9589	-40
-38	79,80	0,001 454	1,4043	1,4058	8,9	1383,3	1392,2	0,0380	5,8840	5,9220	-38
-36	88,54	0,001 460	1,2742	1,2757	17,8	1377,6	1395,4	0,0757	5,8101	5,8858	-36
-34	98,05	0,001 465	1,1582	1,1597	26,8	1371,8	1398,5	0,1132	5,7372	5,8504	-34
-32	108,37	0,001 470	1,0547	1,0562	35,7	1365,9	1401,6	0,1504	5,6652	5,8156	-32
-30	119,55	0,001 476	0,9621	0,9635	44,7	1360,0	1404,6	0,1873	5,5942	5,7815	-30
-28	131,64	0,001 481	0,8790	0,8805	53,6	1354,0	1407,6	0,2240	5,5241	5,7481	-28
-26	144,70	0,001 487	0,8044	0,8059	62,6	1347,9	1410,5	0,2605	5,4548	5,7153	-26
-24	158,78	0,001 492	0,7373	0,7388	71,6	1341,8	1413,4	0,2967	5,3864	5,6831	-24
-22	173,93	0,001 498	0,6768	0,6783	80,7	1335,6	1416,2	0,3327	5,3188	5,6515	-22
-20	190,22	0,001 504	0,6222	0,6237	89,7	1329,3	1419,0	0,3684	5,2520	5,6205	-20
-18	207,71	0,001 510	0,5728	0,5743	98,8	1322,9	1421,7	0,4040	5,1860	5,5900	-18
-16	226,45	0,001 515	0,5280	0,5296	107,8	1316,5	1424,4	0,4393	5,1207	5,5600	-16
-14	246,51	0,001 521	0,4874	0,4889	116,9	1310,0	1427,0	0,4744	5,0561	5,5305	-14
-12	267,95	0,001 528	0,4505	0,4520	126,0	1303,5	1429,5	0,5093	4,9922	5,5015	-12
-10	290,85	0,001 534	0,4169	0,4185	135,2	1296,8	1432,0	0,5440	4,9290	5,4730	-10
-08	315,25	0,001 540	0,3863	0,3878	144,3	1290,1	1434,4	0,5785	4,8664	5,4449	-08
-06	341,25	0,001 546	0,3583	0,3599	153,5	1283,3	1436,8	0,6128	4,8045	5,4173	-06
-04	368,90	0,001 553	0,3328	0,3343	162,7	1276,4	1439,1	0,6469	4,7432	5,3901	-04
-02	398,27	0,001 559	0,3094	0,3109	171,9	1269,4	1441,3	0,6808	4,6825	5,3633	-02
00	429,44	0,001 566	0,2879	0,2895	181,1	1262,4	1443,5	0,7145	4,6223	5,3369	00
02	462,49	0,001 573	0,2683	0,2698	190,4	1255,2	1445,6	0,7481	4,5627	5,3108	02
04	497,49	0,001 580	0,2502	0,2517	199,6	1248,0	1447,6	0,7815	4,5037	5,2852	04
06	534,51	0,001 587	0,2335	0,2351	208,9	1240,6	1449,6	0,8148	4,4451	5,2599	06
08	573,64	0,001 594	0,2182	0,2198	218,3	1233,2	1451,5	0,8479	4,3871	5,2350	08
10	614,95	0,001 601	0,2040	0,2056	227,6	1225,7	1453,3	0,8808	4,3295	5,2104	10
12	658,52	0,001 608	0,1910	0,1926	237,0	1218,1	1455,1	0,9136	4,2725	5,1861	12
14	704,44	0,001 616	0,1789	0,1805	246,4	1210,4	1456,8	0,9463	4,2159	5,1621	14
16	752,59	0,001 623	0,1677	0,1693	255,9	1202,6	1458,5	0,9788	4,1597	5,1385	16
18	803,66	0,001 631	0,1574	0,1590	265,4	1194,7	1460,0	1,0112	4,1039	5,1151	18

**Tabla de presiones de amoniaco. Estado de saturación liquido/vapor**

Temp. [°C]  T	Pres. [kPa]  p	Volumen específico [m³/kg]			Entalpía específica [kJ / kg]			Entropía específica [kJ / kg K]			[°C]  T
		LS	VS		LS	VS		LS	VS		
		v <sub>f</sub>	v <sub>fg</sub>	v <sub>g</sub>	h <sub>f</sub>	h <sub>fg</sub>	h <sub>g</sub>	s <sub>f</sub>	s <sub>fg</sub>	s <sub>g</sub>	
20	857,12	0,001 639	0,1477	0,1494	274,9	1186,7	1461,5	1,0434	4,0486	5,0920	20
22	913,27	0,001 647	0,1388	0,1405	284,4	1178,5	1462,9	1,0755	3,9937	5,0692	22
24	972,19	0,001 655	0,1305	0,1322	294,0	1170,3	1464,3	1,1075	3,9392	5,0467	24
26	1 033,97	0,001 663	0,1228	0,1245	303,6	1162,0	1465,6	1,1394	3,8850	5,0244	26
28	1 098,71	0,001 671	0,1156	0,1173	313,2	1153,6	1466,8	1,1711	3,8312	5,0023	28
30	1 166,49	0,001 680	0,1089	0,1106	322,9	1145,0	1467,9	1,2028	3,7777	4,9805	30
32	1 237,41	0,001 689	0,1027	0,1044	332,6	1136,4	1469,0	1,2343	3,7246	4,9589	32
34	1 311,55	0,001 698	0,0969	0,0986	342,3	1127,6	1469,9	1,2656	3,6718	4,9374	34
36	1 389,03	0,001 707	0,0914	0,0931	352,1	1118,7	1470,8	1,2969	3,6192	4,9161	36
38	1 469,92	0,001 716	0,0863	0,0880	361,9	1109,7	1471,5	1,3281	3,5669	4,8950	38
40	1 554,33	0,001 726	0,0815	0,0833	371,7	1100,5	1472,2	1,3591	3,5148	4,8740	40
42	1 642,35	0,001 735	0,0771	0,0788	381,6	1091,2	1472,8	1,3901	3,4630	4,8530	42
44	1 734,09	0,001 745	0,0728	0,0746	391,5	1081,7	1473,2	1,4209	3,4112	4,8322	44
46	1 829,65	0,001 756	0,0689	0,0707	401,5	1072,0	1473,5	1,4518	3,3595	4,8113	46
48	1 929,13	0,001 766	0,0652	0,0669	411,5	1062,2	1473,7	1,4826	3,3079	4,7905	48
50	2 032,62	0,001 777	0,0617	0,0635	421,7	1052,2	1473,9	1,5135	3,2561	4,7696	50

**Tabla de amoniaco. Estado de vapor sobrecalentado.**

	m³/kg v	kJ/kg h	kJ/kgK s	m³/kg v	kJ/kg h	kJ/kgK s	m³/kg v	kJ/kg h	kJ/kgK s	m³/kg v	kJ/kg h	kJ/kgK s	
°C T	p = 50 kPa (-46,54°C) 0,5 bar			p = 75 kPa (-39,18°C) 0,75 bar			p = 100 kPa (-33,61°C) 1 bar			p = 125 kPa (-29,08°C) 1,25 bar			°C T
-20	2,4474	1435,8	6,3256	1,6233	1433,0	6,1190	1,2110	1430,1	5,9695	0,9635	1427,2	5,8512	-20
-10	2,5481	1457,0	6,4077	1,6915	1454,7	6,2028	1,2631	1452,2	6,0552	1,0059	1449,8	5,9389	-10
0	2,6482	1478,1	6,4865	1,7591	1476,1	6,2828	1,3145	1474,1	6,1366	1,0476	1472,0	6,0217	0
10	2,7479	1499,2	6,5625	1,8263	1497,5	6,3597	1,3654	1495,7	6,2144	1,0889	1493,9	6,1006	10
20	2,8473	1520,4	6,6360	1,8932	1518,9	6,4339	1,4160	1517,3	6,2894	1,1297	1515,7	6,1763	20
30	2,9464	1541,7	6,7073	1,9597	1540,3	6,5058	1,4664	1538,9	6,3618	1,1703	1537,5	6,2494	30
40	3,0453	1563,0	6,7766	2,0261	1561,8	6,5756	1,5165	1560,5	6,4321	1,2107	1559,3	6,3201	40
50	3,1441	1584,5	6,8441	2,0923	1583,4	6,6434	1,5664	1582,2	6,5003	1,2509	1581,1	6,3887	50
60	3,2427	1606,1	6,9099	2,1584	1605,1	6,7096	1,6163	1604,1	6,5668	1,2909	1603,0	6,4555	60
70	3,3413	1627,8	6,9743	2,2244	1626,9	6,7742	1,6659	1626,0	6,6316	1,3309	1625,0	6,5206	70
80	3,4397	1649,7	7,0372	2,2903	1648,9	6,8373	1,7155	1648,0	6,6950	1,3707	1647,2	6,5842	80
100							1,8145	1692,6	6,8177	1,4501	1691,8	6,7072	100

Tabla de amoniaco. Estado de vapor sobrecalentado (continuación).

	m <sup>3</sup> /kg v	kJ/kg h	kJ/kgK s	m <sup>3</sup> /kg v	kJ/kg h	kJ/kgK s	m <sup>3</sup> /kg v	kJ/kg h	kJ/kgK s	m <sup>3</sup> /kg v	kJ/kg h	kJ/kgK s	
°C T	p = 150 kPa (-25,23°C) 1,5 bar			p = 200 kPa (-18,86°C) 2,0 bar			p = 250 kPa (-13,67°C) 2,5 bar			p = 300 kPa (-9,23°C) 3,0 bar			°C T
-20	0,7984	1424,1	5,7526										-20
-10	0,8344	1447,3	5,8424	0,6199	1442,0	5,6863	0,4910	1436,6	5,5609				-10
0	0,8697	1469,8	5,9266	0,6471	1465,5	5,7737	0,5135	1461,0	5,6517	0,4243	1456,3	5,5493	0
10	0,9045	1492,1	6,0066	0,6738	1488,4	5,8559	0,5354	1484,5	5,7365	0,4430	1480,6	5,6366	10
20	0,9388	1514,1	6,0831	0,7001	1510,9	5,9342	0,5568	1507,6	5,8165	0,4613	1504,2	5,7186	20
30	0,9729	1536,1	6,1568	0,7261	1533,2	6,0091	0,5780	1530,3	5,8928	0,4792	1527,4	5,7963	30
40	1,0068	1558,0	6,2280	0,7519	1555,5	6,0813	0,5989	1552,9	5,9661	0,4968	1550,3	5,8707	40
50	1,0405	1580,0	6,2970	0,7774	1577,7	6,1512	0,6196	1575,4	6,0368	0,5143	1573,0	5,9423	50
60	1,0740	1602,0	6,3641	0,8029	1599,9	6,2189	0,6401	1597,8	6,1052	0,5316	1595,7	6,0114	60
70	1,1074	1624,1	6,4295	0,8282	1622,2	6,2849	0,6605	1620,3	6,1717	0,5488	1618,4	6,0785	70
80	1,1408	1646,3	6,4933	0,8533	1644,6	6,3491	0,6809	1642,8	6,2365	0,5658	1641,1	6,1437	80
100	1,2072	1691,1	6,6167	0,9035	1689,6	6,4732	0,7212	1688,2	6,3613	0,5997	1686,7	6,2693	100
°C T	p = 350 kPa (-5,35°C) 3,5 bar			p = 400 kPa (-1,89°C) 4,0 bar			p = 450 kPa (1,26°C) 4,5 bar			p = 500 kPa (4,14°C) 5,0 bar			°C T
0	0,3605	1451,5	5,4600	0,3125	1446,5	5,3803	0,2752	1441,3	5,3078				0
10	0,3770	1476,5	5,5502	0,3274	1472,4	5,4735	0,2887	1468,1	5,4042				10
20	0,3929	1500,7	5,6342	0,3417	1497,2	5,5597	0,3017	1493,6	5,4926	0,2698	1489,9	5,4314	20
30	0,4086	1524,4	5,7135	0,3556	1521,3	5,6405	0,3143	1518,2	5,5752	0,2813	1515,0	5,5157	30
40	0,4239	1547,6	5,7890	0,3692	1544,9	5,7173	0,3266	1542,2	5,6532	0,2926	1539,5	5,5950	40
50	0,4391	1570,7	5,8615	0,3826	1568,3	5,7907	0,3387	1565,9	5,7275	0,3036	1563,4	5,6704	50
60	0,4541	1593,6	5,9314	0,3959	1591,5	5,8613	0,3506	1589,3	5,7989	0,3144	1587,1	5,7425	60
70	0,4689	1616,5	5,9990	0,4090	1614,5	5,9296	0,3624	1612,6	5,8678	0,3251	1610,6	5,8120	70
80	0,4837	1639,3	6,0647	0,4220	1637,6	5,9957	0,3740	1635,8	5,9345	0,3357	1634,0	5,8793	80
100	0,5129	1685,2	6,1910	0,4478	1683,7	6,1228	0,3971	1682,2	6,0623	0,3565	1680,7	6,0079	100
120										0,3771	1727,5	6,1301	120
140										0,3975	1774,7	6,2472	140
°C T	p = 600 kPa (9,29°C) 6 bar			p = 700 kPa (13,81°C) 7 bar			p = 800 kPa (17,86°C) 8 bar			p = 900 kPa (21,54°C) 9,0 bar			°C T
20	0,2217	1482,4	5,3222	0,1874	1474,5	5,2259	0,1615	1466,3	5,1387				20
30	0,2317	1508,6	5,4102	0,1963	1501,9	5,3179	0,1696	1495,0	5,2351	0,1488	1488,0	5,1593	30
40	0,2414	1533,8	5,4923	0,2048	1528,1	5,4029	0,1773	1522,2	5,3232	0,1559	1516,2	5,2508	40
50	0,2508	1558,5	5,5697	0,2131	1553,4	5,4826	0,1848	1548,3	5,4053	0,1627	1543,0	5,3354	50
60	0,2600	1582,7	5,6436	0,2212	1578,2	5,5582	0,1920	1573,7	5,4827	0,1693	1569,1	5,4147	60
70	0,2691	1606,6	5,7144	0,2291	1602,6	5,6303	0,1991	1598,6	5,5562	0,1757	1594,4	5,4897	70
80	0,2781	1630,4	5,7826	0,2369	1626,8	5,6997	0,2060	1623,1	5,6268	0,1820	1619,4	5,5614	80
100	0,2957	1677,7	5,9129	0,2522	1674,6	5,8316	0,2196	1671,6	5,7603	0,1942	1668,5	5,6968	100
120	0,3130	1724,9	6,0363	0,2672	1722,4	5,9562	0,2329	1719,8	5,8861	0,2061	1717,1	5,8237	120
140	0,3302	1772,4	6,1541	0,2821	1770,2	6,0749	0,2459	1768,0	6,0057	0,2178	1765,7	5,9442	140
160							0,2589	1816,4	6,1202	0,2294	1814,4	6,0594	160

Tabla de amoniaco. Estado de vapor sobrecalentado (continuación).

	m <sup>3</sup> /kg v	kJ/kg h	kJ/kgK s	m <sup>3</sup> /kg v	kJ/kg h	kJ/kgK s	m <sup>3</sup> /kg v	kJ/kg h	kJ/kgK s	m <sup>3</sup> /kg v	kJ/kg h	kJ/kgK s	
°C T	p = 1000 kPa (24,91°C) 10 bar			p = 1200 kPa (30,96°C) 12 bar			p = 1400 kPa (36,28°C) 14 bar			p = 1600 kPa (41,05°C) 16 bar			°C T
30	0,1321	1480,6	5,0889										30
40	0,1388	1510,0	5,1840	0,1129	1497,1	5,0629	0,0944	1483,4	4,9534				40
50	0,1450	1537,7	5,2713	0,1185	1526,6	5,1560	0,0995	1515,1	5,0530	0,0851	1502,9	4,9584	50
60	0,1511	1564,4	5,3525	0,1238	1554,7	5,2416	0,1042	1544,7	5,1434	0,0895	1534,4	5,0543	60
70	0,1570	1590,3	5,4292	0,1289	1581,7	5,3215	0,1088	1573,0	5,2270	0,0937	1564,0	5,1419	70
80	0,1627	1615,6	5,5021	0,1338	1608,8	5,3970	0,1132	1600,2	5,3053	0,0977	1592,3	5,2232	80
100	0,1739	1665,4	5,6392	0,1434	1659,2	5,5379	0,1216	1652,8	5,4501	0,1053	1646,4	5,3722	100
120	0,1847	1714,5	5,7674	0,1526	1709,2	5,6687	0,1297	1703,9	5,5836	0,1125	1698,5	5,5084	120
140	0,1954	1763,4	5,8888	0,1616	1758,9	5,7919	0,1376	1754,3	5,7087	0,1195	1749,7	5,6355	140
160	0,2058	1812,4	6,0047	0,1705	1808,5	5,9091	0,1452	1804,5	5,8273	0,1263	1800,5	5,7555	160
180	0,2162	1861,7	6,1159	0,1792	1858,2	6,0214	0,1528	1854,7	5,9406	0,1330	1851,2	5,8699	180
°C T	p = 1800 kPa (45,39°C) 18 bar			p = 2000 kPa (49,38°C) 20 bar									°C T
50	0,0739	1490,0	4,8693	0,0648	1476,1	4,7834							50
60	0,0781	1523,5	4,9715	0,0688	1512,0	4,8930							60
70	0,0820	1554,6	5,0635	0,0725	1544,9	4,9902							70
80	0,0856	1584,1	5,1482	0,0760	1575,6	5,0786							80
100	0,0926	1639,8	5,3018	0,0824	1633,2	5,2371							100
120	0,0992	1693,1	5,4409	0,0885	1687,6	5,3793							120
140	0,1055	1745,1	5,5699	0,0943	1740,4	5,5104							140
160	0,1116	1796,5	5,6914	0,0999	1792,4	5,6333							160
180	0,1177	1847,7	5,8069	0,1054	1844,1	5,7499							180



## Anexo 7

### Tablas de propiedades del R134a.

**Tabla de temperatura del R134a. Estado de saturación liquido/vapor**

Temp., T °C	Pres. sat., P <sub>sat</sub> kPa	Volumen específico, m <sup>3</sup> /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., v <sub>f</sub>	Vapor sat., v <sub>g</sub>	Liq. sat., u <sub>f</sub>	Evap., u <sub>fg</sub>	Vapor sat., u <sub>g</sub>	Liq. sat., h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Vapor sat., h <sub>g</sub>	Liq. sat., s <sub>f</sub>	Evap., s <sub>fg</sub>	Vapor sat., s <sub>g</sub>
-40	51.25	0.0007054	0.36081	-0.036	207.40	207.37	0.000	225.86	225.86	0.00000	0.96866	0.96866
-38	56.86	0.0007083	0.32732	2.475	206.04	208.51	2.515	224.61	227.12	0.01072	0.95511	0.96584
-36	62.95	0.0007112	0.29751	4.992	204.67	209.66	5.037	223.35	228.39	0.02138	0.94176	0.96315
-34	69.55	0.0007142	0.27090	7.517	203.29	210.81	7.566	222.09	229.65	0.03199	0.92859	0.96058
-32	76.71	0.0007172	0.24711	10.05	201.91	211.96	10.10	220.81	230.91	0.04253	0.91560	0.95813
-30	84.43	0.0007203	0.22580	12.59	200.52	213.11	12.65	219.52	232.17	0.05301	0.90278	0.95579
-28	92.76	0.0007234	0.20666	15.13	199.12	214.25	15.20	218.22	233.43	0.06344	0.89012	0.95356
-26	101.73	0.0007265	0.18946	17.69	197.72	215.40	17.76	216.92	234.68	0.07382	0.87762	0.95144
-24	111.37	0.0007297	0.17395	20.25	196.30	216.55	20.33	215.59	235.92	0.08414	0.86527	0.94941
-22	121.72	0.0007329	0.15995	22.82	194.88	217.70	22.91	214.26	237.17	0.09441	0.85307	0.94748
-20	132.82	0.0007362	0.14729	25.39	193.45	218.84	25.49	212.91	238.41	0.10463	0.84101	0.94564
-18	144.69	0.0007396	0.13583	27.98	192.01	219.98	28.09	211.55	239.64	0.11481	0.82908	0.94389
-16	157.38	0.0007430	0.12542	30.57	190.56	221.13	30.69	210.18	240.87	0.12493	0.81729	0.94222
-14	170.93	0.0007464	0.11597	33.17	189.09	222.27	33.30	208.79	242.09	0.13501	0.80561	0.94063
-12	185.37	0.0007499	0.10736	35.78	187.62	223.40	35.92	207.38	243.30	0.14504	0.79406	0.93911
-10	200.74	0.0007535	0.099516	38.40	186.14	224.54	38.55	205.96	244.51	0.15504	0.78263	0.93766
-8	217.08	0.0007571	0.092352	41.03	184.64	225.67	41.19	204.52	245.72	0.16498	0.77130	0.93629
-6	234.44	0.0007608	0.085802	43.66	183.13	226.80	43.84	203.07	246.91	0.17489	0.76008	0.93497
-4	252.85	0.0007646	0.079804	46.31	181.61	227.92	46.50	201.60	248.10	0.18476	0.74896	0.93372
-2	272.36	0.0007684	0.074304	48.96	180.08	229.04	49.17	200.11	249.28	0.19459	0.73794	0.93253
0	293.01	0.0007723	0.069255	51.63	178.53	230.16	51.86	198.60	250.45	0.20439	0.72701	0.93139
2	314.84	0.0007763	0.064612	54.30	176.97	231.27	54.55	197.07	251.61	0.21415	0.71616	0.93031
4	337.90	0.0007804	0.060338	56.99	175.39	232.38	57.25	195.51	252.77	0.22387	0.70540	0.92927
6	362.23	0.0007845	0.056398	59.68	173.80	233.48	59.97	193.94	253.91	0.23356	0.69471	0.92828
8	387.88	0.0007887	0.052762	62.39	172.19	234.58	62.69	192.35	255.04	0.24323	0.68410	0.92733
10	414.89	0.0007930	0.049403	65.10	170.56	235.67	65.43	190.73	256.16	0.25286	0.67356	0.92641
12	443.31	0.0007975	0.046295	67.83	168.92	236.75	68.18	189.09	257.27	0.26246	0.66308	0.92554
14	473.19	0.0008020	0.043417	70.57	167.26	237.83	70.95	187.42	258.37	0.27204	0.65266	0.92470
16	504.58	0.0008066	0.040748	73.32	165.58	238.90	73.73	185.73	259.46	0.28159	0.64230	0.92389
18	537.52	0.0008113	0.038271	76.08	163.88	239.96	76.52	184.01	260.53	0.29112	0.63198	0.92310

**Tabla de presiones del R134a. Estado de saturación líquido/vapor**

Pres., P kPa	Temp. sat., $T_{sat}$ °C	Volumen específico, m <sup>3</sup> /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., $v_f$	Vapor sat., $v_g$	Liq. sat., $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Vapor sat., $u_g$	Liq. sat., $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Vapor sat., $h_g$	Liq. sat., $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Vapor sat., $s_g$
60	-36.95	0.0007098	0.31121	3.798	205.32	209.12	3.841	223.95	227.79	0.01634	0.94807	0.96441
70	-33.87	0.0007144	0.26929	7.680	203.20	210.88	7.730	222.00	229.73	0.03267	0.92775	0.96042
80	-31.13	0.0007185	0.23753	11.15	201.30	212.46	11.21	220.25	231.46	0.04711	0.90999	0.95710
90	-28.65	0.0007223	0.21263	14.31	199.57	213.88	14.37	218.65	233.02	0.06008	0.89419	0.95427
100	-26.37	0.0007259	0.19254	17.21	197.98	215.19	17.28	217.16	234.44	0.07188	0.87995	0.95183
120	-22.32	0.0007324	0.16212	22.40	195.11	217.51	22.49	214.48	236.97	0.09275	0.85503	0.94779
140	-18.77	0.0007383	0.14014	26.98	192.57	219.54	27.08	212.08	239.16	0.11087	0.83358	0.94456
160	-15.60	0.0007437	0.12348	31.09	190.27	221.35	31.21	209.90	241.11	0.12693	0.81496	0.94190
180	-12.73	0.0007487	0.11041	34.83	188.16	222.99	34.97	207.90	242.86	0.14139	0.79826	0.93965
200	-10.09	0.0007533	0.099867	38.28	186.21	224.48	38.43	206.03	244.46	0.15457	0.78316	0.93773
240	-5.38	0.0007620	0.083897	44.48	182.67	227.14	44.66	202.62	247.28	0.17794	0.75664	0.93458
280	-1.25	0.0007699	0.072352	49.97	179.50	229.46	50.18	199.54	249.72	0.19829	0.73381	0.93210
320	2.46	0.0007772	0.063604	54.92	176.61	231.52	55.16	196.71	251.88	0.21637	0.71369	0.93006
360	5.82	0.0007841	0.056738	59.44	173.94	233.38	59.72	194.08	253.81	0.23270	0.69566	0.92836
400	8.91	0.0007907	0.051201	63.62	171.45	235.07	63.94	191.62	255.55	0.24761	0.67929	0.92691
450	12.46	0.0007985	0.045619	68.45	168.54	237.00	68.81	188.71	257.53	0.26465	0.66069	0.92535
500	15.71	0.0008059	0.041118	72.93	165.82	238.75	73.33	185.98	259.30	0.28023	0.64377	0.92400
550	18.73	0.0008130	0.037408	77.10	163.25	240.35	77.54	183.38	260.92	0.29461	0.62821	0.92282
600	21.55	0.0008199	0.034295	81.02	160.81	241.83	81.51	180.90	262.40	0.30799	0.61378	0.92177
650	24.20	0.0008266	0.031646	84.72	158.48	243.20	85.26	178.51	263.77	0.32051	0.60030	0.92081
700	26.69	0.0008331	0.029361	88.24	156.24	244.48	88.82	176.21	265.03	0.33230	0.58763	0.91994
750	29.06	0.0008395	0.027371	91.59	154.08	245.67	92.22	173.98	266.20	0.34345	0.57567	0.91912
800	31.31	0.0008458	0.025621	94.79	152.00	246.79	95.47	171.82	267.29	0.35404	0.56431	0.91835
850	33.45	0.0008520	0.024069	97.87	149.98	247.85	98.60	169.71	268.31	0.36413	0.55349	0.91762
900	35.51	0.0008580	0.022683	100.83	148.01	248.85	101.61	167.66	269.26	0.37377	0.54315	0.91692
950	37.48	0.0008641	0.021438	103.69	146.10	249.79	104.51	165.64	270.15	0.38301	0.53323	0.91624
1000	39.37	0.0008700	0.020313	106.45	144.23	250.68	107.32	163.67	270.99	0.39189	0.52368	0.91558
1200	46.29	0.0008934	0.016715	116.70	137.11	253.81	117.77	156.10	273.87	0.42441	0.48863	0.91303
1400	52.40	0.0009166	0.014107	125.94	130.43	256.37	127.22	148.90	276.12	0.45315	0.45734	0.91050
1600	57.88	0.0009400	0.012123	134.43	124.04	258.47	135.93	141.93	277.86	0.47911	0.42873	0.90784
1800	62.87	0.0009639	0.010559	142.33	117.83	260.17	144.07	135.11	279.17	0.50294	0.40204	0.90498
2000	67.45	0.0009886	0.009288	149.78	111.73	261.51	151.76	128.33	280.09	0.52509	0.37675	0.90184
2500	77.54	0.0010566	0.006936	166.99	96.47	263.45	169.63	111.16	280.79	0.57531	0.31695	0.89226
3000	86.16	0.0011406	0.005275	183.04	80.22	263.26	186.46	92.63	279.09	0.62118	0.25776	0.87894



**Tabla del R134a. Estado de vapor sobrecalentado.**

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K		
P = 0.06 MPa (T <sub>sat</sub> = -36.95°C)					P = 0.10 MPa (T <sub>sat</sub> = -26.31°C)					P = 0.14 MPa (T <sub>sat</sub> = -18.77°C)				
Sat.	0.31121	209.12	227.79	0.9644	0.19254	215.19	234.44	0.9518	0.14014	219.54	239.16	0.9446		
-20	0.33608	220.60	240.76	1.0174	0.19841	219.65	239.50	0.9721						
-10	0.35048	227.55	248.58	1.0477	0.20743	226.75	247.49	1.0030	0.14605	225.91	246.36	0.9724		
0	0.36476	234.66	256.54	1.0774	0.21630	233.95	255.68	1.0332	0.15263	233.23	254.60	1.0031		
10	0.37893	241.92	264.66	1.1066	0.22506	241.30	263.81	1.0628	0.15908	240.66	262.93	1.0331		
20	0.39302	249.35	272.94	1.1353	0.23373	248.79	272.17	1.0918	0.16544	248.22	271.38	1.0624		
30	0.40705	256.95	281.37	1.1636	0.24233	256.44	280.68	1.1203	0.17172	255.93	279.97	1.0912		
40	0.42102	264.71	289.97	1.1915	0.25088	264.25	289.34	1.1484	0.17794	263.79	288.70	1.1195		
50	0.43495	272.64	298.74	1.2191	0.25937	272.22	298.16	1.1762	0.18412	271.79	297.57	1.1474		
60	0.44883	280.73	307.66	1.2463	0.26783	280.35	307.13	1.2035	0.19025	279.96	306.59	1.1749		
70	0.46269	288.99	316.75	1.2732	0.27626	288.64	316.26	1.2305	0.19635	288.28	315.77	1.2020		
80	0.47651	297.41	326.00	1.2997	0.28465	297.08	325.55	1.2572	0.20242	296.75	325.09	1.2288		
90	0.49032	306.00	335.42	1.3260	0.29303	305.69	334.99	1.2836	0.20847	305.38	334.57	1.2553		
100	0.50410	314.74	344.99	1.3520	0.30138	314.46	344.60	1.3096	0.21449	314.17	344.20	1.2814		
P = 0.18 MPa (T <sub>sat</sub> = -12.73°C)					P = 0.20 MPa (T <sub>sat</sub> = -10.09°C)					P = 0.24 MPa (T <sub>sat</sub> = -6.38°C)				
Sat.	0.11041	222.99	242.86	0.9397	0.09987	224.48	244.46	0.9377	0.08390	227.14	247.28	0.9346		
-10	0.11189	225.02	245.16	0.9484	0.09991	224.55	244.54	0.9380						
0	0.11722	232.48	253.58	0.9798	0.10481	232.09	253.05	0.9698	0.08617	231.29	251.97	0.9619		
10	0.12240	240.00	262.04	1.0102	0.10955	239.67	261.58	1.0004	0.09026	238.98	260.65	0.9831		
20	0.12748	247.64	270.59	1.0399	0.11418	247.35	270.18	1.0303	0.09423	246.74	269.35	1.0134		
30	0.13248	255.41	279.25	1.0690	0.11874	255.14	278.89	1.0595	0.09812	254.61	278.16	1.0429		
40	0.13741	263.31	288.05	1.0975	0.12322	263.08	287.72	1.0882	0.10193	262.59	287.06	1.0718		
50	0.14230	271.36	296.98	1.1256	0.12765	271.15	296.68	1.1163	0.10570	270.71	296.08	1.1001		
60	0.14715	279.56	306.05	1.1532	0.13205	279.37	305.78	1.1441	0.10942	278.97	305.23	1.1280		
70	0.15196	287.91	315.27	1.1805	0.13641	287.73	315.01	1.1714	0.11310	287.36	314.51	1.1554		
80	0.15673	296.42	324.63	1.2074	0.14074	296.25	324.40	1.1983	0.11675	295.91	323.93	1.1825		
90	0.16149	306.07	334.14	1.2339	0.14504	304.92	333.93	1.2249	0.12038	304.50	333.49	1.2092		
100	0.16622	313.88	343.80	1.2602	0.14933	313.74	343.50	1.2512	0.12398	313.44	343.20	1.2356		
P = 0.28 MPa (T <sub>sat</sub> = -1.25°C)					P = 0.32 MPa (T <sub>sat</sub> = 2.46°C)					P = 0.40 MPa (T <sub>sat</sub> = 8.91°C)				
Sat.	0.07235	229.46	249.72	0.9321	0.06360	231.52	251.88	0.9301	0.051201	235.07	255.56	0.9269		
0	0.07282	230.44	250.83	0.9352										
10	0.07645	238.27	259.68	0.9580	0.06609	237.54	258.69	0.9544	0.051506	235.97	255.58	0.9305		
20	0.07997	246.13	268.52	0.9987	0.06925	245.50	267.66	0.9856	0.054213	244.18	265.86	0.9628		
30	0.08338	254.05	277.41	1.0285	0.07231	253.50	276.65	1.0157	0.056796	252.36	275.07	0.9937		
40	0.08672	262.10	286.38	1.0576	0.07530	261.50	285.70	1.0451	0.059292	260.58	284.30	1.0236		
50	0.09000	270.27	295.47	1.0862	0.07823	269.82	294.85	1.0739	0.061724	268.90	293.59	1.0528		
60	0.09324	278.56	304.67	1.1142	0.08111	278.15	304.11	1.1021	0.064104	277.32	302.95	1.0814		
70	0.09644	286.99	314.00	1.1418	0.08395	286.62	313.48	1.1298	0.066443	285.86	312.44	1.1094		
80	0.09961	295.57	323.46	1.1690	0.08675	295.22	322.98	1.1571	0.068747	294.53	322.02	1.1369		
90	0.10275	304.29	333.06	1.1958	0.08953	303.97	332.62	1.1840	0.071023	303.32	331.73	1.1640		
100	0.10587	313.15	342.80	1.2222	0.09229	312.86	342.39	1.2105	0.073274	312.25	341.57	1.1907		
110	0.10897	322.16	352.68	1.2483	0.09503	321.89	352.30	1.2367	0.075504	321.33	351.59	1.2171		
120	0.11205	331.32	362.70	1.2742	0.09775	331.07	362.35	1.2626	0.077717	330.55	361.63	1.2431		
130	0.11512	340.63	372.87	1.2997	0.10045	340.39	372.54	1.2882	0.079913	339.90	371.87	1.2688		
140	0.11818	350.09	383.18	1.3250	0.10314	349.86	382.87	1.3135	0.082096	349.41	382.24	1.2942		

Tabla del R134a. Estado de vapor sobrecalentado (continuación).

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K		
$P = 0.53 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 15.71^\circ\text{C})$					$P = 0.60 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 21.56^\circ\text{C})$					$P = 0.70 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 25.62^\circ\text{C})$				
Sat.	0.041118	238.75	259.30	0.9240	0.034295	241.83	262.40	0.9218	0.029361	244.48	265.03	0.9199		
20	0.042115	242.40	263.46	0.9383										
30	0.044338	250.84	273.01	0.9702	0.035984	249.22	270.81	0.9499	0.029966	247.48	268.46	0.9313		
40	0.046456	259.26	282.48	1.0011	0.037865	257.86	280.58	0.9816	0.031696	256.39	278.57	0.9641		
50	0.048499	267.77	291.96	1.0309	0.039659	266.48	290.28	1.0121	0.033322	265.20	288.53	0.9954		
60	0.050488	275.26	301.50	1.0599	0.041389	275.15	299.98	1.0417	0.034975	274.01	298.42	1.0256		
70	0.052427	284.89	311.10	1.0883	0.043069	283.89	309.70	1.0705	0.036373	282.87	308.33	1.0549		
80	0.054331	293.64	320.80	1.1162	0.044710	292.73	319.55	1.0987	0.037829	291.90	318.28	1.0836		
90	0.056205	302.51	330.61	1.1436	0.046318	301.67	329.46	1.1264	0.039250	300.82	328.29	1.1114		
100	0.058053	311.50	340.53	1.1705	0.047900	310.73	339.47	1.1536	0.040542	309.95	338.40	1.1389		
110	0.059880	320.63	350.57	1.1971	0.049458	319.91	349.59	1.1803	0.042010	319.19	348.60	1.1658		
120	0.061587	329.89	360.73	1.2233	0.050997	329.23	359.82	1.2067	0.043358	328.55	358.90	1.1924		
130	0.053479	339.29	371.03	1.2491	0.052519	338.67	370.18	1.2327	0.044688	338.04	369.32	1.2186		
140	0.055256	348.83	381.46	1.2747	0.054027	348.25	380.66	1.2584	0.046004	347.66	379.86	1.2444		
150	0.057021	358.51	392.02	1.2999	0.055522	357.96	391.27	1.2838	0.047306	357.41	390.52	1.2699		
160	0.058775	368.33	402.72	1.3249	0.057005	367.81	402.01	1.3088	0.048597	367.29	401.31	1.2951		
$P = 0.80 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 21.31^\circ\text{C})$					$P = 0.90 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 25.51^\circ\text{C})$					$P = 1.00 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 29.37^\circ\text{C})$				
Sat.	0.026621	246.79	267.29	0.9183	0.022683	248.86	269.26	0.9169	0.020313	250.68	270.99	0.9156		
40	0.027035	254.82	276.45	0.9480	0.023375	253.13	274.17	0.9327	0.020406	251.30	271.71	0.9179		
50	0.028547	263.86	286.69	0.9802	0.024909	262.44	284.77	0.9660	0.021796	260.94	282.74	0.9525		
60	0.029973	272.83	296.81	1.0110	0.026146	271.63	295.13	0.9976	0.023068	270.32	293.38	0.9850		
70	0.031340	281.81	306.88	1.0408	0.027413	280.72	305.39	1.0280	0.024261	279.59	303.85	1.0160		
80	0.032659	290.84	316.97	1.0698	0.028630	289.85	315.63	1.0574	0.025398	288.86	314.25	1.0458		
90	0.033941	299.96	327.10	1.0981	0.029806	299.05	325.89	1.0860	0.026492	298.15	324.54	1.0748		
100	0.035193	309.16	337.30	1.1258	0.030951	308.34	336.19	1.1140	0.027552	307.51	335.06	1.1091		
110	0.036420	318.46	347.59	1.1530	0.032068	317.70	346.56	1.1414	0.028584	316.94	345.53	1.1308		
120	0.037623	327.87	357.97	1.1798	0.033164	327.18	357.02	1.1684	0.029592	326.47	356.06	1.1580		
130	0.038813	337.40	368.45	1.2061	0.034241	336.76	367.58	1.1949	0.030581	335.11	366.69	1.1846		
140	0.039986	347.06	379.05	1.2321	0.035302	346.46	378.23	1.2210	0.031554	344.85	377.40	1.2109		
150	0.041143	356.85	389.76	1.2577	0.036349	356.28	389.00	1.2467	0.032512	355.71	388.22	1.2368		
160	0.042290	366.76	400.59	1.2830	0.037384	366.23	399.88	1.2721	0.033457	366.70	399.15	1.2623		
170	0.043427	376.81	411.55	1.3080	0.038409	376.31	410.98	1.2972	0.034392	376.81	410.20	1.2875		
180	0.044554	386.99	422.64	1.3327	0.039423	386.52	422.00	1.3221	0.035317	386.04	421.36	1.3124		
$P = 1.20 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 40.29^\circ\text{C})$					$P = 1.40 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 52.40^\circ\text{C})$					$P = 1.60 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 57.88^\circ\text{C})$				
Sat.	0.016715	253.81	273.87	0.9130	0.014107	256.37	276.12	0.9105	0.012123	258.47	277.86	0.9076		
50	0.017201	257.63	278.27	0.9267										
60	0.018404	267.56	289.64	0.9614	0.015005	264.46	285.47	0.9389	0.012372	260.89	280.69	0.9163		
70	0.019502	277.21	300.61	0.9938	0.016060	274.62	297.10	0.9733	0.013430	271.76	293.25	0.9535		
80	0.020529	286.75	311.39	1.0248	0.017023	284.51	308.34	1.0056	0.014362	282.09	305.07	0.9875		
90	0.021506	296.26	322.07	1.0546	0.017923	294.28	319.37	1.0364	0.015215	292.17	316.52	1.0194		
100	0.022442	305.80	332.73	1.0836	0.018778	304.01	330.30	1.0661	0.016014	302.14	327.76	1.0500		
110	0.023348	315.38	343.40	1.1118	0.019597	313.76	341.19	1.0949	0.016773	312.07	338.91	1.0795		
120	0.024228	325.03	354.11	1.1394	0.020388	323.55	352.05	1.1230	0.017500	322.02	350.02	1.1081		
130	0.025086	334.77	364.88	1.1664	0.021155	333.41	363.02	1.1504	0.018201	332.00	361.12	1.1360		
140	0.025927	344.61	375.72	1.1930	0.021904	343.34	374.01	1.1773	0.018882	342.05	372.25	1.1632		
150	0.026753	354.56	386.66	1.2192	0.022636	353.37	385.07	1.2038	0.019545	352.17	383.44	1.1900		
160	0.027566	364.61	397.69	1.2449	0.023355	363.51	396.20	1.2298	0.020194	362.38	394.69	1.2163		
170	0.028357	374.78	408.82	1.2703	0.024061	373.75	407.43	1.2554	0.020830	372.59	406.02	1.2421		
180	0.029158	385.08	420.07	1.2954	0.024757	384.10	418.76	1.2807	0.021456	383.11	417.44	1.2676		



Anexo 8

Compresor de la fábrica marca Mycom.

**ΜΑΥΕΚΑΨΑ**  
**MYCOM**

Compresor *Reciprocante*  
Serie M



**Fuerza** y liderazgo mundial  
sin precedentes!

[www.mayekawa.cl](http://www.mayekawa.cl)

## Anexo 9

### AK2-SC 255- Reference Manual

---

*Danfoss*



## AK2-SC 255 Reference Manual

REFRIGERATION AND  
AIR CONDITIONING

Users Manual

Anexo 10  
Transductor de presión

*Danfoss*



**Pressure Transmitter  
Type AKS 33**